

# 生産技術専門委員会報告 T-22

Report T-22 of Committee on Cement Manufacturing  
Technology

省エネルギー・省資源技術に関する報告書  
Technologies of Energy Saving and Resources Saving  
in the Japanese Cement Industry

2002 年 5 月  
(May 2002)

社団法人 セメント協会  
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

## 省エネルギー・省資源技術に関する報告書

### 序

本委員会は、この度、セメント業界における省エネルギー・省資源技術を広く紹介する目的で本報告書を作成した。本報告書は各工場にて実施されている省エネルギー・省資源技術を集約したものである。

本報告書は3部構成とし、第1部では日本における省エネルギー・省資源技術の概要を、第2部では原料、焼成、仕上の各工程ならびに廃棄物他の活用、廃熱回収、共通事項における各項目について、省エネルギー・省資源技術の具体的内容を示した。なお、下表に示す項目については、導入の有無、使用状況等に関してアンケート調査を会員各社にお願いし、アンケート調査結果をもとに導入率や導入効果等を示した。

第3部は現在の日本の省エネルギー・省資源技術を海外へ紹介する目的で第1部および第2部で示した具体的内容の中から10の技術を選び英訳したものである。

| 工程 | 項目                                                                                                                                                      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原料 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 堅型原料ミルの導入</li><li>・ 堅型ミル外部循環方式の導入</li><li>・ 堅型ミル直接集塵システム導入</li><li>・ 原料予備粉砕設備の導入</li></ul>                      |
| 焼成 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 塩素バイパスシステムの導入</li><li>・ エアービーム式クーラーの導入</li><li>・ キルン運転の自動制御</li><li>・ フリーライム自動測定装置</li><li>・ 容重自動測定装置</li></ul> |
| 仕上 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ ローラーミル型予備粉砕設備</li><li>・ チューブミル運転の自動制御</li></ul>                                                                 |

最後にアンケート調査にご協力頂いた関係各位に辞意を表すしだいである。

2002 年 5 月

社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会

## 生産技術専門委員会

|       |              |       |                 |
|-------|--------------|-------|-----------------|
| 委 員 長 | 太平洋セメント株式会社  | 小川健太郎 | (2000 年 9 月選任)  |
|       | 太平洋セメント株式会社  | 木村知幸  | (2000 年 8 月退任)  |
| 委員長代行 | 太平洋セメント株式会社  | 中崎雅文  | (2000 年 10 月選任) |
|       | 太平洋セメント株式会社  | 中根俊章  | (2000 年 9 月退任)  |
| 委 員   | 麻生セメント株式会社   | 石畑春喜  | (2001 年 11 月選任) |
|       | 麻生セメント株式会社   | 小林成光  | (2001 年 10 月退任) |
|       | 麻生セメント株式会社   | 束田英則  | (1999 年 11 月退任) |
|       | 宇部興産株式会社     | 井関哲生  | (2002 年 4 月選任)  |
|       | 宇部興産株式会社     | 市川正隆  | (2002 年 3 月退任)  |
|       | 住友大阪セメント株式会社 | 細田啓介  | (2001 年 9 月選任)  |
|       | 住友大阪セメント株式会社 | 山本繁実  | (2001 年 8 月退任)  |
|       | 電気化学工業株式会社   | 河野康彦  | (2001 年 10 月選任) |
|       | 電気化学工業株式会社   | 西岡朝明  | (2001 年 9 月退任)  |
|       | 東ソー株式会社      | 升田伸治  | (1999 年 9 月選任)  |
|       | 東ソー株式会社      | 時高伸二  | (1999 年 8 月退任)  |
|       | 株式会社トクヤマ     | 前田直哉  | (2000 年 8 月選任)  |
|       | 株式会社トクヤマ     | 安達秀樹  | (2000 年 7 月退任)  |
|       | 日鐵セメント株式会社   | 田中義仁  | (2001 年 11 月選任) |
|       | 日鐵セメント株式会社   | 小崎洋一  | (2001 年 10 月退任) |
|       | 日立セメント株式会社   | 折笠 聡  |                 |
|       | 三菱マテリアル株式会社  | 橋本光一  | (2000 年 12 月選任) |
|       | 三菱マテリアル株式会社  | 前田達郎  | (2000 年 11 月退任) |
|       | 明星セメント株式会社   | 豊田建蔵  | (2001 年 1 月退任)  |
|       | 明星セメント株式会社   | 堀内佳邦  | (1999 年 6 月退任)  |
| 事務局   | 社団法人 セメント協会  | 高橋 茂  |                 |
|       |              | 青木尚樹  |                 |
|       |              | 早川友幸  |                 |

# 目 次

## 序

### 第1部 日本のセメント産業における省エネルギー・省資源技術の概要

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                         | 1  |
| 2. クリンカー製造プロセスの変遷 .....               | 1  |
| 3. 日本のセメント産業の合理化と現状 .....             | 3  |
| 4. セメント産業のエネルギー使用状況 .....             | 5  |
| 1) 熱量原単位の推移 .....                     | 5  |
| 2) 電力原単位の推移 .....                     | 7  |
| 5. 日本のセメント産業における省エネルギー・省資源技術の現状 ..... | 9  |
| 1) 省エネルギー技術の現状 .....                  | 9  |
| (1) 廃熱発電設備 .....                      | 9  |
| (2) SP・NSPの5段プレヒーター .....             | 10 |
| (3) 流動床焼成方式 .....                     | 10 |
| (4) エアービーム式クリンカークーラー .....            | 10 |
| (5) 縦型ミル .....                        | 10 |
| (6) 高性能セパレーター .....                   | 11 |
| (7) 予備粉砕機 .....                       | 11 |
| (8) 日常管理 .....                        | 11 |
| 2) 省資源技術の現状 .....                     | 12 |
| (1) 高炉スラグ .....                       | 13 |
| (2) 石炭灰 .....                         | 13 |
| (3) 廃タイヤ .....                        | 14 |
| (4) 塩素バイパス .....                      | 15 |
| 6. まとめ .....                          | 15 |

### 第2部 省エネルギー・省資源技術具体例

#### [原料工程]

|                        |    |
|------------------------|----|
| ・ 縦型原料ミルの導入 .....      | 17 |
| ・ 縦型ミル外部循環方式の導入 .....  | 18 |
| ・ 縦型ミル直接集塵システム導入 ..... | 19 |
| ・ 原料予備粉砕設備の導入 .....    | 20 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| ・原料セパレーター戻粉の分級 ..... | 21 |
| ・原料調合制御の自動化 .....    | 22 |
| ・原料粉末度の適正化 .....     | 23 |
| ・電気集塵機の間欠荷電 .....    | 24 |
| ・窯入原料輸送の機械式化 .....   | 25 |

## [焼成工程]

|                          |    |
|--------------------------|----|
| ・NSP焼成方式の開発 .....        | 26 |
| ・流動床セメント焼成設備 .....       | 27 |
| ・プレヒーターの5段化 .....        | 28 |
| ・仮焼炉の改善 .....            | 29 |
| ・仮焼炉の燃焼改善 .....          | 30 |
| ・ボトムサイクロン出口温度自動制御 .....  | 31 |
| ・塩素バイパスシステムの導入 .....     | 32 |
| ・サイクロンスケール除去装置 .....     | 33 |
| ・燃焼管理 .....              | 34 |
| ・キルン内コーティング安定化 .....     | 35 |
| ・キルンバーナーの改善（1） .....     | 36 |
| ・キルンバーナーの改善（2） .....     | 37 |
| ・キルン口元エアークリーンの強化 .....   | 38 |
| ・キルン窯尻エアークリーンの強化 .....   | 39 |
| ・縦型石炭ミルの導入 .....         | 40 |
| ・微粉炭定量供給装置 .....         | 41 |
| ・リフターレングスの採用 .....       | 42 |
| ・耐火物の断熱対策 .....          | 43 |
| ・クーラーのウィズコントロール .....    | 44 |
| ・AQCグレート速度自動制御 .....     | 45 |
| ・パーテーションプレートの設置 .....    | 46 |
| ・エアークリーニング式クーラーの導入 ..... | 47 |
| ・キルン運転の自動制御 .....        | 48 |
| ・フリータイム自動測定装置 .....      | 49 |
| ・容重自動測定装置 .....          | 50 |

## [仕上工程]

|                           |    |
|---------------------------|----|
| ・閉回路粉砕システム .....          | 51 |
| ・粉砕助剤の使用 .....            | 52 |
| ・チューブミル2室の分級ライナー化 .....   | 53 |
| ・チューブミルのクリンカー流量調製装置 ..... | 54 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| ・ 粉砕媒体の適正化 .....        | 55 |
| ・ セパレーターの改善 .....       | 56 |
| ・ ロールプレス型予備粉砕設備 .....   | 57 |
| ・ ローラーミル型予備粉砕設備 .....   | 58 |
| ・ チューブミルの自動運転制御 .....   | 59 |
| ・ 縦型仕上ミルの導入 .....       | 60 |
| ・ 縦型仕上ミル外部循環方式の導入 ..... | 61 |
| ・ セメント粒度自動制御 .....      | 62 |
| ・ スラグ粉砕の高効率化 .....      | 63 |
| <b>【廃棄物他の活用】</b>        |    |
| ・ 廃タイヤ自動投入設備 .....      | 64 |
| ・ 廃タイヤガス化処理設備 .....     | 65 |
| ・ 廃油、油泥投入設備 .....       | 66 |
| ・ 廃プラスチック処理設備 .....     | 67 |
| ・ RDF処理設備 .....         | 68 |
| ・ 廃パチンコ台の再資源化 .....     | 69 |
| ・ 代替原料処理技術（石炭灰） .....   | 70 |
| ・ 代替原料処理技術（スラグ類） .....  | 71 |
| ・ 代替原料処理技術（汚泥類） .....   | 72 |
| ・ 代替原料処理技術（下水汚泥） .....  | 73 |
| ・ 廃酸・廃アルカリ処理設備 .....    | 74 |
| <b>【廃熱回収】</b>           |    |
| ・ 廃熱発電の導入 .....         | 75 |
| ・ クーラー排気の再循環使用 .....    | 76 |
| <b>【共通】</b>             |    |
| ・ サイクロンの低圧損化 .....      | 77 |
| ・ バッグフィルターの低圧損化 .....   | 78 |
| ・ ファンの回転数制御 .....       | 79 |
| ・ ファンのインペラーカット .....    | 80 |
| ・ マテリアルシール .....        | 81 |

### 第3部 Technologies of Energy Saving and Resouces Saving in the Japanese Cement Industry

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 . Introduction .....                                                      | 83 |
| 2 . Transition of clinker manufacturing process .....                       | 83 |
| 3 . Rationalization and present state of the Japanese cement industry ..... | 85 |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4 . Energy consumption of the cement industry .....                                         | 88 |
| 1 ) Transition of specific thermal energy consumption .....                                 | 88 |
| 2 ) Transition of specific electrical power consumption .....                               | 90 |
| 5 . Present state of energy saving and resources saving in the Japanene cement industry ... | 91 |
| 1 ) Present state of energy saving .....                                                    | 92 |
| (1) Power station by waste heat .....                                                       | 92 |
| (2) 5-Step preheater for SP and NSP .....                                                   | 92 |
| (3) Fluidized bed cement kiln system .....                                                  | 92 |
| (4) Air beam type clinker cooler .....                                                      | 93 |
| (5) Vertical mill .....                                                                     | 93 |
| (6) High-performance separator .....                                                        | 93 |
| (7) Pre-grinding crusher .....                                                              | 94 |
| (8) Daily management .....                                                                  | 94 |
| 2 ) Present state of resources saving .....                                                 | 94 |
| (1) Blast furnace slag .....                                                                | 95 |
| (2) Coal ash .....                                                                          | 96 |
| (3) Waste tire .....                                                                        | 97 |
| (4) Chlorine bypass system .....                                                            | 98 |
| 6 . Conclusion .....                                                                        | 98 |

#### [Technologies]

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| • Introduction of power station by waste heat .....                         | 99  |
| • 5-stage system of suspension preheater .....                              | 100 |
| • Fluidized bed cement kiln system .....                                    | 101 |
| • Introduction of air beam type clinker cooler .....                        | 102 |
| • Introduction of a vertical roller mill for raw materials .....            | 103 |
| • Introduction of external circulating system to vertical roller mill ..... | 104 |
| • Introduction of a vertical roller mill for cement .....                   | 105 |
| • Improvement of separator .....                                            | 106 |
| • Pre-grinding of roll press system .....                                   | 108 |
| • Pre-grinding of roller mill system .....                                  | 109 |

第 1 部      日本のセメント産業における  
省エネルギー・省資源技術の概要

## 1. はじめに

日本のセメント産業は、その一世紀を越える長い歴史を経て、セメント品質・エネルギー原単位・工場の設備管理・労働生産性・環境保全などの各面で世界のトップクラスの位置を占めるに至った。また近年では廃棄物他の活用に積極的に取り組み、これまで大きな成果をあげてきている。

一方、セメント産業を取り巻く現状における技術的課題には、地球環境問題、特に地球温暖化の問題への対処がある。温室効果ガス削減のために一層の省エネルギー推進が求められている。また他方では、我国の社会的課題である廃棄物処理対策の推進、広い意味では資源循環型社会実現への取り組みが強く求められている。この問題に関しては、セメント産業はゼロエミッションを目指す資源循環型社会を実現するための中核産業のひとつと位置づけられ、一層の社会貢献が期待されている状況にある。

## 2. クリンカー製造プロセスの変遷

セメント産業はエネルギー多消費かつ大量生産型の装置産業である。このため、セメント製造技術は生産能力拡大（大規模化）による効率化の流れの中で発展してきたと言える。

セメント製造は原料工程・焼成工程・仕上げ工程の3工程からなり、それぞれの工程で技術革新・改善が進められてきたが、セメント製造技術の中核はクリンカーを製造する焼成工程である。

クリンカー焼成工程では、微粉碎した石灰石と粘土質鉱物他を高温(1,450℃)で焼結させ、セメントとしての機能を発揮する水硬性鉱物を形成させる。製造したクリンカーの品質によってセメント品質がほぼ決まることからクリンカー焼成は重要な工程であり、セメント製造技術はこの工程の技術革新を中心に変遷・発展してきた。

クリンカーは古くは竖窯（シャフトキルン）で焼成されていたが、回転窯（ロータリーキルン）で焼成されるようになってから様々な方式が開発・採用されてきた。

代表的なものには、

- ・原料を水中で粉碎してスラリー状とし、脱水ケーキをキルンに送入して焼成する湿式。
- ・乾式粉碎した原料を造粒し、予熱装置を通してキルンに送入するレポール式。
- ・高温(700℃)のキルン排ガスの熱をボイラーで回収し、発電するドライボイラー式。

などがあり、1960年代の我国においては種々の焼成方式が競いあっていた。

しかし、いずれの焼成方式によるキルンも 2,000 t/d 程度の能力であり、年産 100 万 t に満たない小規模なものであった。

このような状況下で、複数の大型サイクロンを組み合わせた熱交換設備（プレヒーター）を備えたサスペンションプレヒーター付キルン方式（SP）が開発され、現在に至る技術革新が始まった。

1960年にドイツで開発されたSP方式は、プレヒーター上部から粉末原料を導入しキルン排ガス中に懸濁（サスペンド）させて熱交換させることに特徴があった。この方式では、プレヒーター内で原料中の一部石灰石の熱分解が進み、仮焼された原料がロータリーキルンに供給されるために、焼成工程の熱効率が従来よりも飛躍的に向上する。また、生産能力増大が可能となることから我国にも早期に技術導入されて技術開発が進められた結果、世界で初めて4,000 t/d能力規模のキルンが実現した。

生産能力増強の要請はさらに強まり、1971年、我国において真に革新的と言えるプレカールサイナー（仮焼炉）付SPキルン方式（NSP）が開発され、8,000 t/d能力規模の超大型キルンが出現した。この方式は、プレヒーター内に新たに付設した仮焼炉にて最大で約60%の熱量を使用して、石灰石の熱分解反応の大部分をプレヒーター内で積極的に行わせることに特徴がある。クリンカー焼成は石灰石の脱炭酸（吸熱）反応とクリンカー焼結（発熱）反応の進行に多量の熱エネルギーを必要とするが、各反応に必要な熱量を分割して2ヶ所から供給することにより熱効率が向上し、設備能力は従前の2倍強に増大した。

図-1に日本における焼成様式の変遷の状況を示す。我国では1980年頃までにNSPの新設や既設キルンのNSPへの改造が急速に進行し、その過程でNSPの各種の方式が開発された。

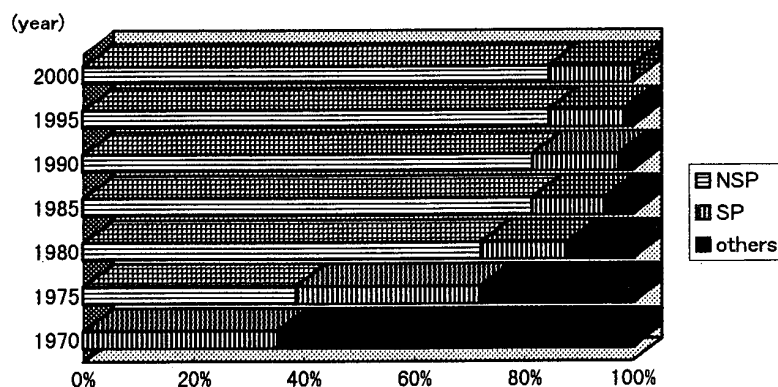


図-1 様式別クリンカ生産比率の変遷

NSP方式には次のような他方式に対する優位性がある。

- a) キルン側で供給すべき熱量がクリンカー焼結反応に必要な分だけとなり、同一キルン径で比較すると、生産能力が大幅に増加する。

- b) 生産能力増を狙って大径化したSPキルンで生じた「内張レンガの短寿命化」の問題が焼成帯断面積当り熱負荷の低下により解消／緩和され、長期安定運転が可能となる。
- c) キルン側での燃料の燃焼量が少ないため、サーマルNO<sub>x</sub>の発生が軽減できる。

NSP方式は、開発されてから30年を経た現在でも、実用レベルでは最も効率的な焼成方式である。最近、アジア諸国で盛んに建設されている10,000 t/d規模のキルンもすべてNSP方式によるものである。

### 3. 日本のセメント産業の合理化と現状

表-1と表-2に日本のセメント産業の規模を示す。

2000年では、セメント生産の中心設備であるキルン基数は65基、クリンカー生産能力は年産約8,720万tとなっている。又、セメント工場は年産100～300万t規模のものが多く、セメント生産量の93%が年産100万tを越える大型工場で生産されている。又、年産500万tを越える超大型工場が2工場ある。

表-1 日本のセメント産業 (2000年)

|                       |       |              |
|-----------------------|-------|--------------|
| Companies             | 18    | million tons |
| Plants                | 37    |              |
| Kilns                 | 65    |              |
| Clinker pro. capacity | 87.2  |              |
| Plant workers         | 4,758 |              |

表-2 セメント工場の生産能力 (2000年)

| Production capacity<br>(million tons/y) | Plants | Capacity<br>ratio (%) | av.capacity<br>(million tons/y) |
|-----------------------------------------|--------|-----------------------|---------------------------------|
| 0.5 ~ 1.0                               | 8      | 7.5                   | 0.822                           |
| 1.0 ~ 2.0                               | 11     | 18.8                  | 1.488                           |
| 2.0 ~ 3.0                               | 10     | 28.8                  | 2.509                           |
| 3.0 ~ 4.0                               | 3      | 13.3                  | 3.871                           |
| 4.0 ~ 5.0                               | 3      | 16.0                  | 4.645                           |
| 5.0 <                                   | 2      | 15.6                  | 6.823                           |
| total/average                           | 37     | 100.0                 | 2.357                           |

クリンカー製造技術の革新により大規模化が急激に進み、これに付随してその他の生産合理化も同様に進展した。表-3にその推移を示す。

キルン基数は、新技術の導入による合理化により、1970年の226基から15年後の1985年には98基と半減し、その後も生産の集約が一層進んでいる。もともと地域的な存在であったセメント工場が、集中生産・大量輸送体制を確立した広域的な存在に、一部はさらに海外市場を睨んだ国際的な存在に変身をとげ、現在はこれらが混在している状況である。

又、セメント工場の労働人員も、キルン1基当りの生産能力の増加を中心として運転管理技術の発展・設備の信頼性向上・一部業務のアウトソーシング化などにより減少し、2000年時点での工場人員は1970年の1/3のレベルまで低下している。これらの結果、労働生産性は約16,000 t/人・年となり、1970年の約5倍のレベルとなっている。

表-3 生産合理化の推移

| Year | Plants | Kilns | Production capacity<br>(mt-cl/y) | Clinker Production<br>(mt-cl) | Plant workers | Productivity<br>(t/y,man) |
|------|--------|-------|----------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------------------|
| 1970 | 58     | 226   | 86.4                             | 54.9                          | 16,549        | 3,316                     |
| 1975 | 58     | 246   | 120.8                            | 63.2                          | 14,774        | 4,275                     |
| 1980 | 53     | 192   | 126.4                            | 86.3                          | 10,830        | 7,965                     |
| 1985 | 44     | 98    | 98.0                             | 70.7                          | 8,617         | 8,207                     |
| 1990 | 41     | 80    | 87.2                             | 75.3                          | 6,949         | 10,834                    |
| 1995 | 41     | 81    | 97.6                             | 89.1                          | 5,830         | 15,282                    |
| 1999 | 39     | 75    | 95.6                             | 74.3                          | 4,758         | 15,606                    |
| 2000 | 37     | 65    | 87.2                             | 75.6                          | 4,387         | 17,227                    |

図-2に労働生産性とキルン稼働率の推移状況を示す。

日本のセメント産業は既に成熟期を迎えていると言われており、最近の景気低迷をきっかけに需要に対して過剰な設備能力の存在が問題視される状況となっている。このため生産ラインの廃棄や休止が実施されており、セメント産業全体として生産の集約化が更に進むものと考えられる。

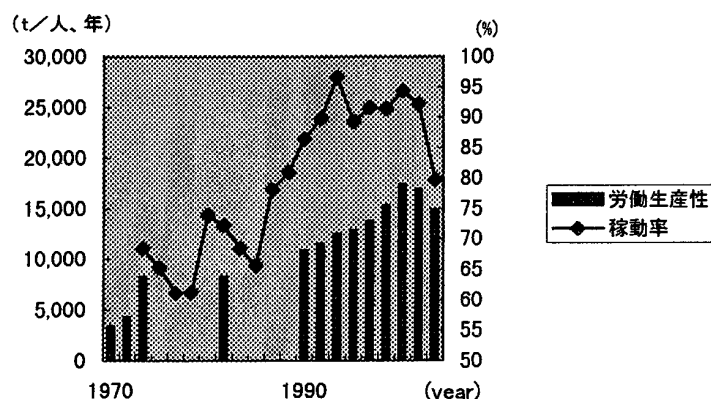


図-2 労働生産性とキルン稼働率の推移

図-3に全国のセメント工場の立地を示す。

大型工場は主要原料である石灰石が賦存している臨海部に立地している場合が多く、主要燃料である石炭の搬入と製品の出荷のために港湾を利用し、大量輸送に対応している。他方、内陸に立地している工場の生産規模は比較的小さいが、大都市近郊に立地している工場の中には大型のものもある。

一般的に、大量生産・出荷が必要なセメント産業では、内陸工場は各種輸送費の面で不利であるが、近年の廃棄物他活用の進展によって大都市近郊に立地する工場には収集などの面で有利な点が生ずるなど、資源循環型社会構築の動きの中でセメント工場の新たな役割の影響が生じている。

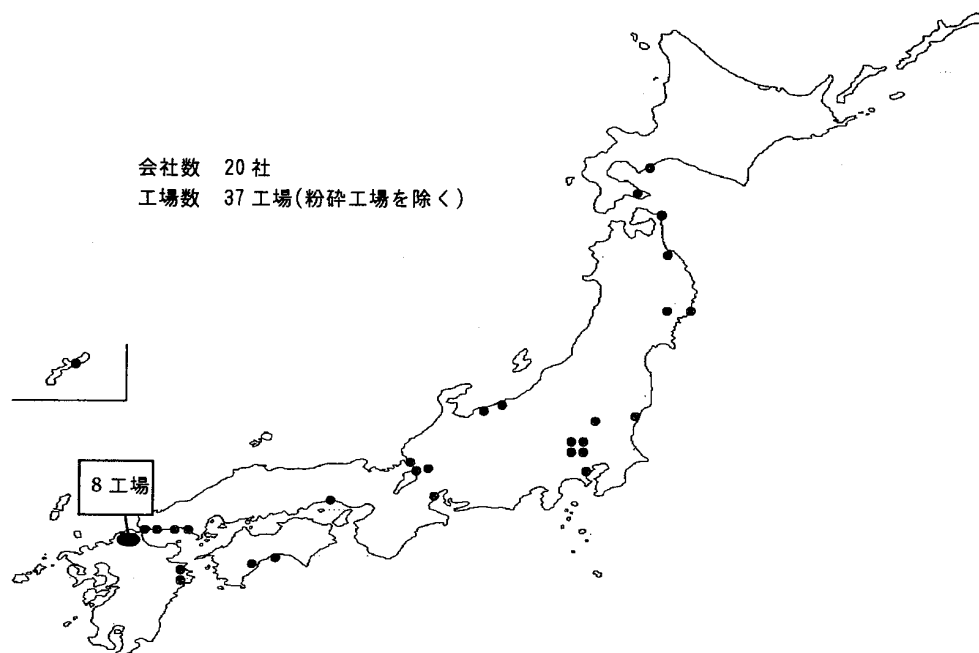


図-3 セメント工場の立地状況(2000年調べ)

#### 4. セメント産業のエネルギー使用状況

セメント製造においては、焼成工程では熱エネルギー（燃料）と電力エネルギーを、原料工程と仕上げ工程では電力エネルギーを主に使用する。

それぞれの工程における技術革新や改善に加えて、余剰熱量による廃熱発電の実施、各種廃棄物他の原燃料としての活用が積極的に行われている。

##### 1) 熱量原単位の推移

S P方式が導入され、さらにN S P方式が開発された状況の下、1970年代に発生したオイルショックを契機として重油から石炭への燃料転換が急激に進行し、その後もエネルギーコスト上昇に対処するために活発な省エネルギー活動が展開された。

図-4に熱量原単位の推移を示す。

我国セメント産業の省エネルギー努力の成果は、クリンカー焼成熱量原単位の推移から、一目瞭然である。1970年を起点としてみると、その後の約15年間をかけて約33%の熱量原単位低減を達成していることがわかる。その推移を詳しく見ると、熱量原単位の低減は2段階に分かれている。この内、1980年頃までの第一段階の低減は主に焼成様式の変更によるものと考えられる。その後の1986年に至る第二段階の低減は別項に示した各種の省エネルギー技術の活用や管理技術の向上によるものと考えられる。

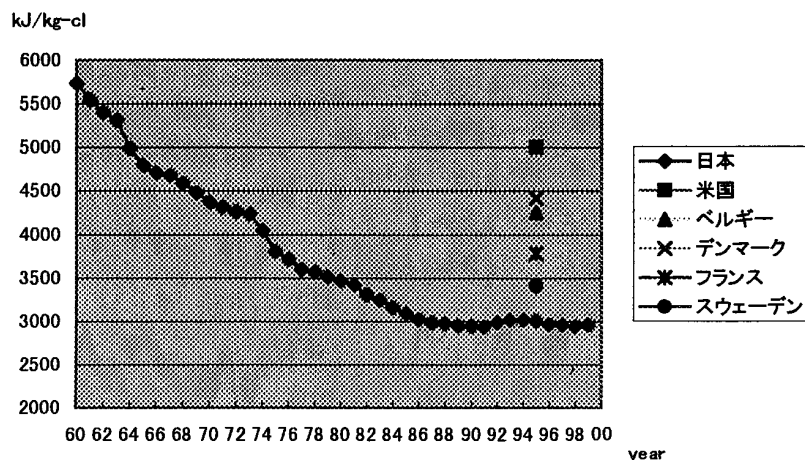


図-4 熱量原単位の推移

データ出所 日本：セメント協会

米国：U.S. Cement Industry Fact Sheet (1995) より推計

その他：EUROPEAN ANNUAL REVIEW(1995)

又、図-4には主要先進国のセメント産業の1995年度実績値をあわせて表示した。国によって違いはあるが、我国のセメント産業はトップレベルにあり、これまで努力してきた省エネルギーの到達度はかなり高いことが理解できよう。

しかし、過去において大きな成果をあげてきたものの、1990年以降、熱量原単位はほぼ横這いで推移している。このような状況となっている大きな原因のひとつは、省エネルギー活動が進展した結果、大幅な改善の余地がほとんどない状況に到達したためと考えられる。

一例として、表-4に現在の我国における典型的な焼成システムである廃熱発電設備を備えたNSPキルンの熱収支を示す。

この例では入熱の80%を有効利用しており、エネルギー利用効率は極めて高いレベルに達している。我国の多くのキルンはほぼ同様なシステムを採用済みであることから、全体としてこの効率をさらに大幅に向上させることは困難であることが理解されよう。

表-4 焼成工程(NSP)の熱利用状況 (廃熱ボイラー付)

| 入熱 (%)         |         | 出熱 (%)    |     |                      |
|----------------|---------|-----------|-----|----------------------|
| 燃料燃焼熱<br>原料他顕熱 | 97<br>3 | クリンカー焼成熱  | 53  | 有効利用熱<br>* (発生蒸気ベース) |
|                |         | 原料乾燥熱     | 8   |                      |
|                |         | 石炭乾燥熱     | 1   |                      |
|                |         | 廃熱発電用回収熱* | 18  |                      |
|                |         | 小計        | 80  | 排熱                   |
|                |         | クリンカー持去り熱 | 3   |                      |
|                |         | 排ガス持去り熱   | 9   |                      |
| その他            | 8       |           |     |                      |
|                | 小計      | 20        |     |                      |
| 合計             | 100     | 合計        | 100 |                      |

このような状況から近年のセメント産業は、省エネルギー設備の一層の普及努力に加えて、既に実現した高いエネルギー利用効率とセメント産業の特徴を生かして、エネルギー（熱）源の多様化を図る方向に努力を傾注している。

具体的には、発熱量を有する産業廃棄物及び一般廃棄物を代替燃料として活用し、従来使用してきた化石燃料の使用量を極限まで減らすという方向である。

劣質な代替燃料を使用して良質の化石燃料の使用を極限まで減らすためには、燃焼管理をベースにした廃棄物使用技術の一層の進展が必要であり、その努力が続けられている。

このような取り組みの方向は、従来の直接的な省エネルギー活動とは意味合いが異なるものの、化石燃料の節約・温存につながるという意味で省エネルギーに通ずる。又、グローバルな視点からすると、CO<sub>2</sub>ガスの削減にもつながることになる。

## 2) 電力原単位の推移

図-5に電力原単位の推移を示す。

セメント工場における電力の用途は、原料工程・仕上げ工程の粉碎設備・大量の空気や排ガスを処理する各種のファン・キルン他の輸送設備の駆動などである。

電力原単位も熱量原単位とほぼ同じような推移傾向を示しており、1970年を起点にすると約20%の原単位低減が実現されている。

又、諸外国との比較においても熱量原単位の場合と同様であり、我国セメント産業の省エネルギー到達度の高さが示されている。尚、1997年以降の電力原単位の上昇は生産数量減少に伴う非効率な運転の影響と考えられるが、廃棄物他の処理設備の増加などによる悪化要因も含まれている。

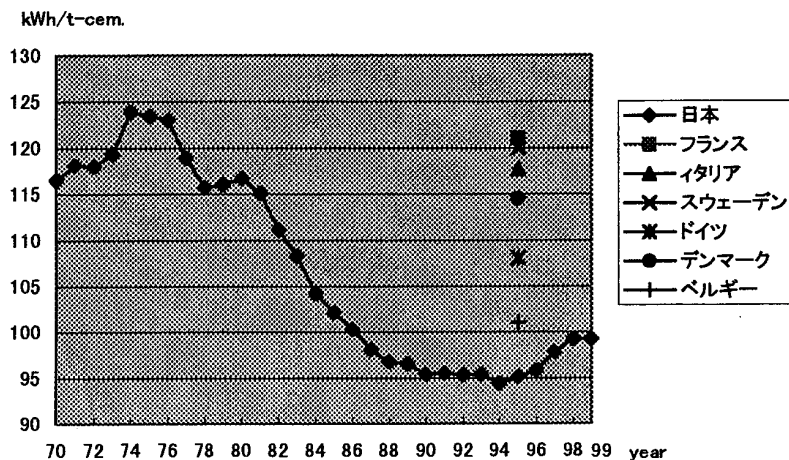


図-5 電力原単位の推移

データ出所 日本：セメントハンドブック

その他：EUROPEAN ANNUAL REVIEW(1995)

原料粉碎及びクリンカー粉碎（仕上げ粉碎）に係わる粉碎技術も変遷を経てきた。セメント産業の粉碎設備としては古くから、回転する円筒中に粉碎媒体として多数の鋼球を内蔵させた、チューブミル(ボールミル)が使用されてきた。チューブミルによる乾式粉碎方式では、砕料をチューブミルに送入して粉碎しそのまま砕製品を得る開回路粉碎から、分級機（セパレーター）とチューブミルを組み合わせた閉回路粉碎への技術の進展があった。

開回路粉碎では、所定の粉末度の砕製品を得るための制御方法がミルへの砕料供給量の調節に限られる。このため、砕製品中には粗粒が残りやすくまた一部は過粉碎になるなど、製品の品質面とエネルギー原単位の面で改善すべき課題があった。

これに対し閉回路粉碎では、チューブミルで粉碎された砕製品がセパレーターによって微粒部分と粗粒部分に分級され、粗粒部分がチューブミルに再び戻される機構であるため、開回路粉碎での問題点が解消され、チューブミルの粉碎効率と製品品質が改善された。

次の段階ではセパレーターの分級性能向上が課題となった。初期のゲーコ型・スターテバント型・サイクロン型などを経て、最も高性能である最近のローター型セパレーターの開発・導入につながった。この間、クリンカー焼成能力の増加に対応してチューブミルも大型化し、粗砕と微粉碎をそれぞれ担当する2室式が主流となった。

粉碎技術の革新は新たに開発された堅型ミルの導入によって始まったといえよう。堅型ミルは、砕料を回転するテーブル上に供給して複数のローラーで加圧粉碎する方式のため、チューブミルよりも粉碎効率が高い。また、高温排ガスをミル内に導入することによって乾燥と粉碎を同時に行えることから、原料粉碎と石炭粉碎に広く普及し、工程の簡

素化と省電力に大きな効果を示した。

その後、仕上げ粉碎用の堅型ミルも開発・導入され、スラグ粉碎にも堅型ミルが普及している。

一方、既設の仕上げ粉碎用チューブミルの能力向上と効率改善を狙いとして、高圧ロールプレスや堅型ローラーミルなどによる予備粉碎システムが開発・導入された。

従来、チューブミルの1室が担っていたクリンカー粗粉碎の機能を新たに付設した予備粉碎機に移し、チューブミルでは主に微粉碎のみを行わせる方式である。粗粉碎の効率が改善され、またミルに供給される碎料が格段に細くなるのでチューブミルでの微粉碎能力も向上する。予備粉碎システムの導入は、チューブミルのボール小径化や高性能セパレーターの採用とも相俟って、粉碎工程の大幅な省エネを実現した。

ファン電力の低減は、各所の圧力損失低減対策の効果により余裕が生じたファン能力を適正化することや高効率ファンへの更新などにより実施された。設備面の改善に加えて、ファンの制御方法改善などソフト面での技術の進展も大きく寄与した。

## 5. 日本のセメント産業における省エネルギー・省資源技術の現状

製造技術の変遷について概要を述べてきたが、この項では日本のセメント産業の現状における主要技術の到達レベルと今後の動向を概括する。

### 1) 省エネルギー技術の現状

#### (1) 廃熱発電設備

N S P方式の普及によりキルン1基あたりの生産規模が増大したことから、400℃程度のプレヒーター排ガスと250℃程度のクリンカークーラー排気の熱を廃熱ボイラーで回収し、混圧蒸気タービンと発電機で電気に変換してエネルギーを回収する廃熱発電設備が1980年頃から急速に普及した。この普及は、クリンカー1t当りの発電可能量は平均的に35～40kWであることから5,000t/dのキルンで時間当たり約8,000kWの出力が可能となり、投資採算に見合うものとなったことによる。

廃熱発電設備を備えたN S Pキルンでは、焼成工程のエネルギー利用効率が80%を超える。プレヒーター側の廃熱ボイラー出口ガス温度は約250℃となり、その後さらに原料乾燥などに使用されて約100℃程度となる。また、クーラー排気も廃熱ボイラー通過後に約100℃程度となり、両者とも工業的な利用価値がほとんどない極限に近い状況となる。このため、焼成工程における一層の熱量原単位低減は廃熱発電量の低下につながることであり、新たな省エネルギー投資が経済的に成り立ちにくい場合が多くなるという皮肉な状況をもたらしている面もある。

廃熱発電技術の我国における普及は一段落しているものの、これから大型設備が建設さ

れる海外のケースでは次第に普及してゆくものと考えられる。

## (2) SP・NSPの5段式プレヒーター

廃熱発電設備設置が経済的に割に合わず、原料乾燥用熱量に余裕があるキルンでは、熱量低減を目的に4段サイクロンの5段への改造が実施された。

5段化することにより原料と排ガスの熱交換能力が増強されて、キルンへの供給原料の仮焼率が上昇する。これによりキルン系全体の安定性が増し、系全体としての熱効率も高まる。このため、キルン新設の場合には5段プレヒーターの採用が主流となっている。

## (3) 流動床焼成方式

NSP方式に続く新しい焼成方式の開発が進められている。流動床焼成方式は、プレヒーターの下部に流動床焼成設備を組み込んだ設備構成となっており、クリンカー焼成を静止設備で行う。従来の「ロータリーキルンによるクリンカー焼成」という既成概念を打破する新方式である。設備能力に関してはNSP方式ほどの大型化は困難と見られるが、熱量原単位は10%程度低いと言われている。

今後、海外における小規模・旧式設備の更新機会への採用が期待される。

## (4) エアービーム式クリンカークーラー

近年、従来主流であった空気室式のグレートクーラーに代わってエアービーム式のクリンカークーラーが我国でも普及しつつある。

クーラーの熱回収効率の高低は熱量原単位に大きく影響することから、より高温の燃焼用2次空気を回収できる高効率クーラーは省エネルギーにとって重要である。エアービーム式はクリンカー落下部～2次空気回収領域に適用され、熱回収効率が従来方式よりも数ポイント改善される実績を示している。

エアービーム式にはいくつかのタイプがあるが、2000年での導入実績はキルンへの導入率で32%となっている。

エアービーム式クーラーは既設クーラーの更新などを契機に今後も普及してゆくと考えられるが、クーラーに関しては現在も新たな技術の開発が進められており、エアービーム式を含めてその優劣が競われることになると予想される。(尚、ここでのエアービーム式とはグレートプレート数枚単位に冷却用空気を専用ファンで供給する機構を備えた方式の総称とした。)

## (5) 堅型ミル

粉砕関係では原料粉砕用堅型ミルが1970年頃から広く普及した。堅型ミルの場合には原料乾燥と粉砕が同時に行えるので工程がシンプルとなり、原料配合の調整も迅速に行えるメリットがある。しかし最近では、粘土代替としての石炭灰の使用量増加にともなって、原

料成分の調整のために珪石の使用割合が増え、テーブルやローラーの摩耗進行速度が増す傾向にあると言われている。原料粉碎用堅型ミルに関しては、今後はメンテナンス性に配慮した設備構成が重要視されることになろう。

また、堅型ミルでは、粉碎した碎製品の全量を風力によって搬送すると使用電力がかさむことから、碎製品の一部をミルの外に排出し機械輸送する外部循環方式が導入されている。外部循環方式の普及率は 2000 年現在で約 50%となっている。（原料・仕上げ・スラグ用合計）

一方、仕上げ粉碎においても我国で堅型ミル単独での仕上げ粉碎技術が開発され、大きな省エネ効果を示しているが、国内では予備粉碎機の導入が主流となり、主に外国で普及しつつある。

#### (6) 高性能セパレーター

粉碎技術と密接に関連する分級技術では、国内で開発されたローター型の高効率セパレーターが国内、海外ともに既に広く普及している。また、堅型ミル内部の分級部をローター型の分級機構に改造して、堅型ミルの効率を改善する技術も開発されており、今後普及するものと考えられる。

#### (7) 予備粉碎機

仕上げ粉碎ではチューブミルと組み合わせて粉碎効率を改善する予備粉碎機が普及した。予備粉碎機としては当初、ヨーロッパで開発された比較的安価な高圧ロールプレスが盛んに導入されたが、ロールの寿命やメンテナンス性が十分とは言えず期待ほどの成果は得られない場合が多かった。最近は国内で開発されたより信頼性の高いローラーミルタイプの予備粉碎機導入が主流となっている。

予備粉碎方式には、予備粉碎機が故障した場合でもチューブミルを単独運転することによって生産能力を維持できる有利性があり、今後も普及して行くものと考えられる。

#### (8) 日常管理

日本のセメント産業の技術が世界のトップレベルに位置づけられるようになった背景には、以上のような中心となる省エネルギー技術の適用の他に、きめ細かな管理と不具合部の改善などが、日常絶え間なく、行われていることがある。

例えば品質管理面では、クリンカーのフリーライムや容重の自動測定装置を導入することによりこれらの測定頻度が飛躍的に増加し、操業条件の調整がよりきめ細かに行われるようになっている。これらの普及率は 2000 年で夫々 30%、19%である。

又、TPM活動などの設備管理改善活動も盛んに行われており、設備故障の予防による長期間運転の可能化などを通じて、エネルギーロスの低減・コスト低減が図られている。

## 2) 省資源技術の現状

世界的な環境保護意識の高まりの中、人口が多く国土が狭隘でありかつ産業廃棄物発生量が多い我国では、埋め立てに代わる廃棄物処理方法の確立が社会的な課題となっている。セメント産業は、産業固有の特長を生かして廃棄物の受け入れ・処理にいち早く取り組み、これまで大きな成果をあげてきた。

廃棄物の受け入れ・処理におけるセメント産業固有の特長とは次のようなものである。

- a)  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  などが主要成分ならば、セメント原料として使用できる。
- b) 低発熱量であっても、一部は燃料、残滓は原料となり、2次廃棄物が発生しない。
- c) 高温での化学反応を経るので、廃棄物は化学的に転化され、製品品質に影響しない。
- d) キルンは原則として24h連続運転であり、継続的な大量処理が可能である。

表-5にセメント産業が使用した産業廃棄物等の実績を示す。

セメント産業は、1999年において他産業から約2,560万tの産業廃棄物及び副産物を受け入れセメント用原燃料として使用しており、地域環境の保全と資源循環型社会の確立に向けて大きく貢献している。1999年度のセメント生産量は約8,220万tなので、平均でセメント1t当たり約310kgの産業廃棄物等を使用している計算となる。

表-5 産業廃棄物等の活用

| 単位：(100万t)         |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|
|                    | 1991 | 1995 | 1999 |
| Blast furnace slag | 13.5 | 12.5 | 11.4 |
| Steel mfr. Slag    | 1.3  | 1.2  | 0.9  |
| Non-ferrous slag   | 1.4  | 1.4  | 1.3  |
| Coal tailing       | 1.8  | 1.7  | 0.9  |
| Coal ash           | 2.4  | 3.1  | 4.6  |
| Dirt, Sludge       | 0.5  | 0.9  | 1.7  |
| By-produced gypsum | 2.2  | 2.5  | 2.6  |
| Others             | 1.3  | 1.8  | 2.2  |
| Total              | 24.4 | 25.1 | 25.6 |

廃タイヤや廃油などの廃棄物等を代替燃料として使用することは化石燃料（石炭等）の節約につながり、グローバルな視点から見れば省エネルギーとなる。

また一方で、熱量を持たない廃棄物を代替原料として使用することも次のような意味で意義深いと考えられる。ひとつは天然資源の温存（省資源）である。経済的に利用できる天然資源は有限であり、それらの温存・延命は将来にとって望ましいことである。

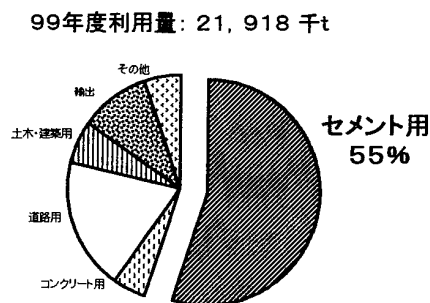
また、ある産業で無価値となった産業廃棄物も、それが発生する過程においてはさまざまなエネルギーを消費して処理されてきている。つまり、廃棄物もまた消費されたエネルギーの産物のひとつと考えることができる。これをセメント原料として使用することは、その消費されたエネルギーの一部を有効活用することに他ならず、グローバルな視点から見ると、エネルギー利用効率が高まることになると考えられる。

次に代表的な使用例と関連する技術を紹介する。

### (1) 高炉スラグ

高炉スラグは、セメントと同じく水硬性があり、主に混合セメントのひとつである高炉セメントの基材として使用される。高炉スラグの多くは水で急冷して製造される水淬であり、ある程度の水分を含んでいることとセメントよりも微粉碎が必要であることから、粉碎には同時乾燥粉碎が可能で粉碎効率の高い豎型ミルが多く採用されている。

また、高炉スラグはアルカリ分が少ないので、セメント中のアルカリ低減を目的として原料としても一部使用されている。高炉セメントに限らず、各種の混合セメントの使用拡大はCO<sub>2</sub>削減対策としても有効である。



図－6 高炉スラグの利用状況

出所: 鉄鋼スラグ協会

### (2) 石炭灰

石炭専焼火力発電所で発生する石炭灰のセメント産業での使用量は経年的に増加してきている。1998年度における石炭灰の利用量は509万tであり、このうちの約71%をセメント産業が処理している。

石炭灰にはフライアッシュ（飛灰）とボトムアッシュ（炉底灰）があり、共に粘土代替原料として使用されている。石炭灰の成分にもよるが、平均的にはセメント1t当り最大約100kg程度の使用が可能とみられ、今後も使用量は拡大してゆく見込みである。

使用技術の面からは、発生元での使用石炭銘柄が多様であるため灰の成分が日常的に大きく変動することが問題となる。セメント原料として大量に活用するためには、この成分変動の影響を吸収できるような原料調合プロセスでの設備の見直しや調合制御プログラムの最適化が重要である。

また、石炭灰は天然の粘土原料よりもアルミナ成分含有率が高い場合が多いため、シリカ成分を補う必要が生ずる。このため、硬質な珪石の原単位が増加して、豎型ミル主要部品の異常摩耗を引き起こすなどの派生的な問題も生じている。

フライアッシュには混合セメント（フライアッシュセメント）の原料としての用途もある。

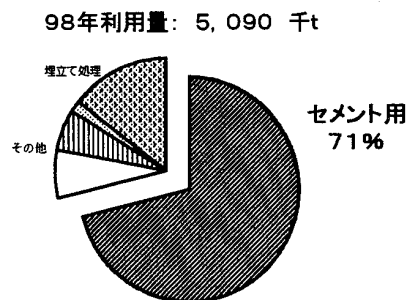


図-7 石炭灰の利用状況 出所: (財)石炭利用総合センター

### (3) 廃タイヤ

廃棄物を代替燃料として活用している代表的な例は廃タイヤである。原形のまま、あるいは小さく切断して窯尻やプレヒーター下部に直接投入する。

技術的には、使用量の増大とともに工程への影響の度合いも大きくなることから、定量供給精度の確保やボトムサイクロン出口のガス温度や原料温度の制御など、工程安定化のための技術が重要となる。

また、廃タイヤ中にはワイヤーが10~15%含まれているため、直接投入の場合には製品品質の面から使用量には自ずと限界が生ずることがある。この限界を超えることを狙って廃タイヤのガス化技術も実用化されている。

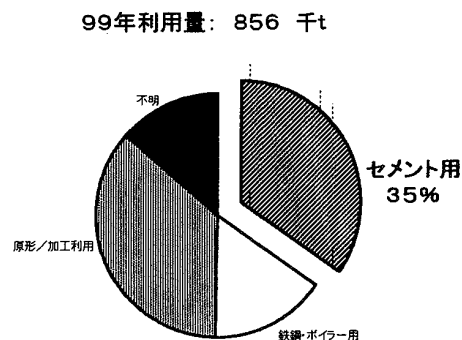


図-8 廃タイヤの利用状況 出所: 日本自動車タイヤ協会

これらの他、廃油類・各種の汚泥・下水汚泥などの使用/処理技術が開発・実用化されている。これらについても品位の安定化対策や定量供給方法の工夫、何らかの原因で供給停止となった場合の補償方法の確立などが重要である。又、都市ゴミ焼却灰や廃プラスチック類の使用技術が実用化されており、今後の発展が期待されている。

#### (4) 塩素バイパス

多様な廃棄物の大量使用を進める中で、セメント製造工程において問題となるのはこれから系内に入ってくる塩素量の増加である。

キルン系内に送入された塩素は、高温での揮発率が高いため、キルン～プレヒーター間で揮発と凝縮を繰り返して系内で濃縮する。塩素や硫黄などが中心となって低融点物質を形成して周りの原料を付着させ、プレヒーター下部の各所側壁に異常なコーティングを成長させる。その結果、通風障害さらにはサイクロン詰りなどの工程トラブルを引き起こし、結果として多量のエネルギーロスを生ぜしめる。

塩素バイパスは、塩素が濃縮している部分のガスまたは原料の一部を系外に抜き出して塩素分を効率よく回収し、系内の塩素濃度を低下させる技術であり、上記のような障害をほぼ解消できる。我国での普及率（工場数ベース）は 2000 年で 54%となっており、改善効果も大部分の工場がサイクロン詰り回数の減少に効果ありと評価している。

ガス抽出方式では、通過ガスからの抽気比率が 1～3%程度と既存技術であるアルカリバイパス(10%以上)よりもかなり小さく、回収された塩素を含むダストは品質に影響しない範囲で仕上げ工程にて混入処理できるためダストフリーである。

原料抽出方式は、クリンカーベースの比率で 1%未満の原料をバイパスさせ、水洗して塩素分を除去後、再度原料に戻す方式となっている。

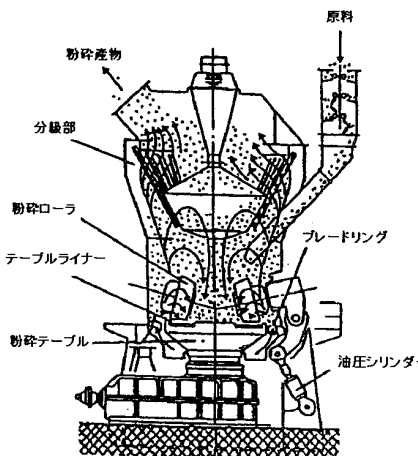
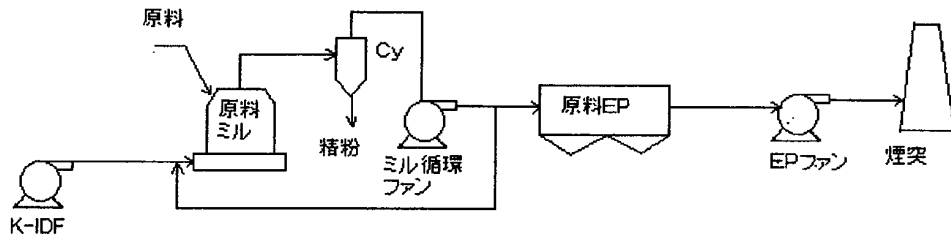
日本のセメント産業は今後ますます多様な廃棄物等の大量処理を進めてゆくことになると予想され、塩素バイパスの必要度もさらに増すものと考えられる。その意味で省エネ・省資源活動を支える基盤技術のひとつとなりつつある。

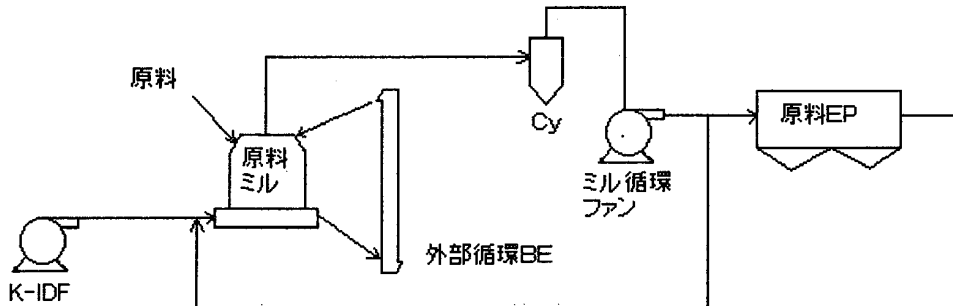
#### 6. まとめ

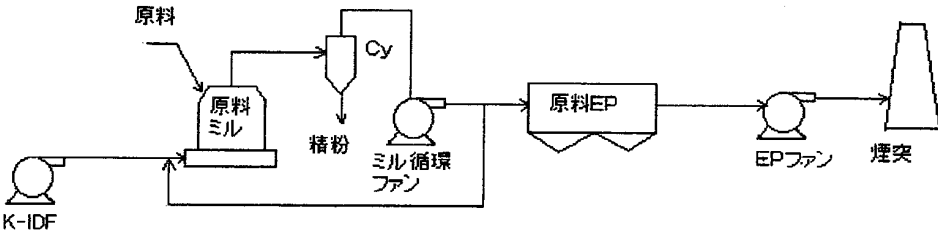
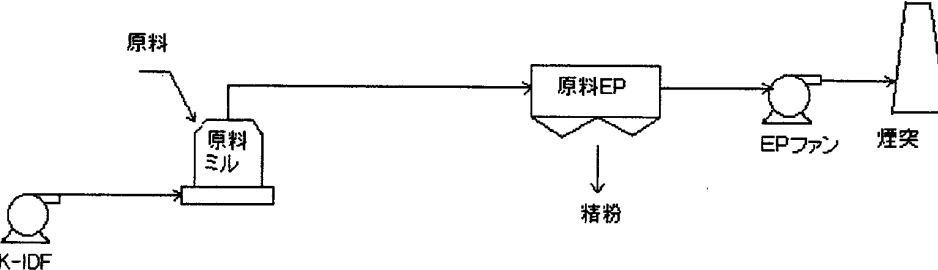
日本のセメント産業は、エネルギー利用効率の高い生産システムを活用して高品質の製品を社会に供給するという本来の役割に加え、多様な廃棄物他を受け入れ処理することを通じて、社会的さらにはグローバルな環境問題の解消／緩和に貢献するという新たな役割に多大な努力を払いつつある。

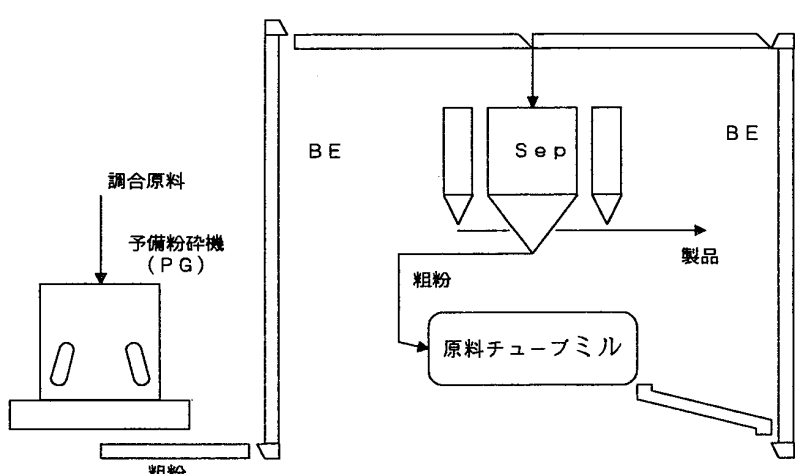
各国のセメント産業が置かれている現在の状況は様々であろうが、今後の地球環境問題への対処を考えれば、遅かれ早かれ各国のセメント産業も各種廃棄物の処理を担う方向に向かうことになると思われる。本報告で概括した省エネルギー技術及び省資源技術が参考とされ、また活用されることを期待したい。

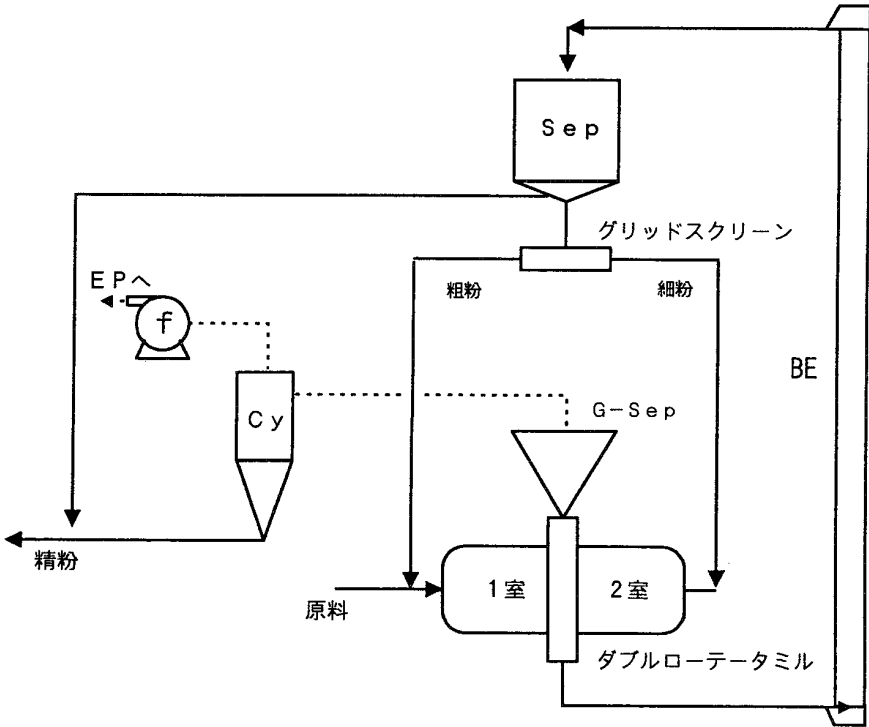
## 第 2 部 省エネルギー・省資源技術具体例

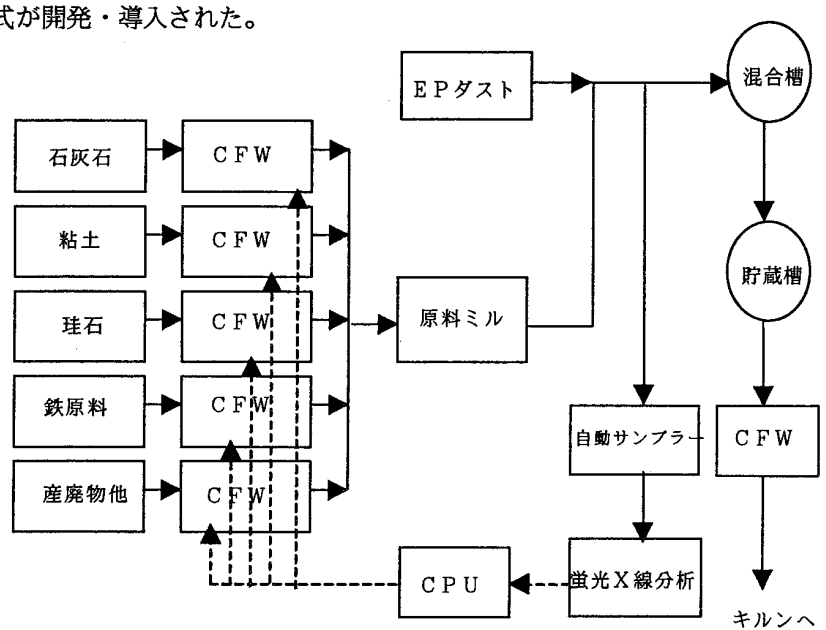
| 項 目     | 堅型原料ミルの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 適用工程   | 導入時期     |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|-----------|--|--------|----------|----|------|---|-----|---------|----------|-------|----------|-------|-------|---------|---------|-------|--|--|-----------|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 原料工程   | 1980 年頃  |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 背景と目的   | セメント原料の粉碎には、多大のエネルギーを要する。この原料粉碎機として、従来は主にチューブミルが使用されてきたが、チューブミルのエネルギー利用効率は数%にすぎず、エネルギー効率の高い粉碎機の導入が望まれていた。                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |          |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 技術の内容   | <p>堅型ローラーミルは、チューブミルに比べ、粉碎エネルギー効率が高く、かつ設置面積も少なく済むことから近年、広く普及しはじめている。</p> <p>1) 構造</p> <p>(1) 円盤状のテーブル上面にローラーを油圧で押さえつけ、ローラーとテーブルの間で粉碎する方式である。</p> <p>(2) ローラー上方には、分級機が内蔵されている。</p> <p>2) 特徴</p> <p>(1) ボールミル方式に比べ、粉碎効率が高く、電力原単位が低い。</p> <p>(2) 粉碎機内部での被粉碎物の滞留時間が短く、原料調合変更への応答が早いことから品質も安定する。</p> <p>(3) 据え付け面積が少なく、騒音も低い。</p> <p>(4) 大きい塊状原料も粉碎できる。</p> <p>(5) 同時乾燥粉碎が可能である。</p>                            |        |          |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
|         | <div></div> <p>図1 堅型ローラーミルの構造</p> <div></div> <p>図2 原料粉碎堅型ミルプロセスフロー例</p> <p>堅型ミルは国内 20 工場で導入しており、原料堅型ミルは 44 基が稼動している。</p> <p>【留意事項】<br/>粉碎効率維持のため、テーブル外周のダム高さを適宜調整する必要がある。粉碎ローラーの寿命は 3~4,000hrs、テーブルライナーの寿命は 5~6,000hrs 程度である。</p> |        |          |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 導入効果    | <p>表1 堅型ローラーミル導入効果の例</p> <table><tr><th></th><th></th><th>チューブミル</th><th>堅型ローラーミル</th><th>効果</th></tr><tr><td>生産能力</td><td>%</td><td>100</td><td>160~180</td><td>60~80%向上</td></tr><tr><td>電力原単位</td><td>kWh/t-RM</td><td>20~26</td><td>14~18</td><td>約 30%削減</td></tr><tr><td>電力消費量削減</td><td>kWh/y</td><td></td><td></td><td>2,240,000</td></tr></table> <p>: 電力消費量算出条件: 粉碎機能力 200t/h、稼働時間 7,000h/y</p> |        |          |           |  | チューブミル | 堅型ローラーミル | 効果 | 生産能力 | % | 100 | 160~180 | 60~80%向上 | 電力原単位 | kWh/t-RM | 20~26 | 14~18 | 約 30%削減 | 電力消費量削減 | kWh/y |  |  | 2,240,000 |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | チューブミル | 堅型ローラーミル | 効果        |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 生産能力    | %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 100    | 160~180  | 60~80%向上  |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 電力原単位   | kWh/t-RM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 20~26  | 14~18    | 約 30%削減   |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 電力消費量削減 | kWh/y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |          | 2,240,000 |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 概算費用    | 粉碎量 200t-RM/h 程度の場合、付帯設備、工事費を含め、15億円程度。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |          |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 関連事項    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |          |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |
| 参考資料    | 第37回セメント製造技術シンポジウム報告集 p6(1980)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |        |          |           |  |        |          |    |      |   |     |         |          |       |          |       |       |         |         |       |  |  |           |

| 項 目         | 堅型ミル外部循環方式の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 適用工程   | 導入時期    |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|--|--------|--------|----|-----|-----|-----|-----|--|------|------|------|-----|--------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|------|------|--------|-------------|--|-----|-----|--|-------|--|------|-----|--------|------|--|---|-----|--|
|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 原料工程   | 1980 年代 |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 背景と目的       | セメント原料の粉碎に広く用いられるようになった堅型ローラーミルは、被粉碎物をミル内部（粉碎部～分級部）で循環させる構造であるため、誘引ファンの電力原単位が粉碎系全体の約60％を占めていた。これは、ミル内で被粉碎物を粉碎部から分級部まで風力によって持ち上げていることが大きな原因である。従って、この粉碎そのものに直接貢献していないファンのエネルギーを何らかの形で低減することが望まれていた。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |         |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 技術の内容       | <p>テーブル上を通過した被粉碎物の一部をテーブル下方に落下させてミルの外に出し、それをバケットエレベーターでミル入口に戻す外部循環システムが導入された。このシステムでは、ミル内部で循環する原料が大幅に減り、粉碎物持ち上げに必要なガス量が減ることからミル圧損も低下し、ファンの電力原単位が大幅に低下する。</p> <p>国内堅型ミルの約 15％が外部循環方式を採用している。（セメント協会 T-17 報告書）</p> <div></div> <p>図1 外部循環式ローラーミルのフロー</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |         |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 導入効果        | <p>従来の内部循環式に比べて、ファンの電力原単位は約50％低減し、粉碎系全体では30％余りの電力原単位低減が可能である。</p> <p>表1 外部循環の有無による粉碎能力比較例</p> <table><tr><th></th><th></th><th>従来システム</th><th>外部循環方式</th><th>効果</th></tr><tr><td>粉碎量</td><td>t/h</td><td>490</td><td>496</td><td></td></tr><tr><td>ミル圧損</td><td>mmAq</td><td>1110</td><td>770</td><td>約30％低下</td></tr><tr><td>ファン風量</td><td>m³/min</td><td>15,400</td><td>12,000</td><td>約22％低下</td></tr><tr><td>電力原単位（計）</td><td>kWh/t</td><td>19.4</td><td>13.5</td><td>約30％低下</td></tr><tr><td>（ミル、セパレーター）</td><td></td><td>8.9</td><td>7.7</td><td></td></tr><tr><td>（ファン）</td><td></td><td>10.5</td><td>5.7</td><td>約50％低下</td></tr><tr><td>（BE）</td><td></td><td>—</td><td>0.1</td><td></td></tr></table> |        |         |        |  | 従来システム | 外部循環方式 | 効果 | 粉碎量 | t/h | 490 | 496 |  | ミル圧損 | mmAq | 1110 | 770 | 約30％低下 | ファン風量 | m³/min | 15,400 | 12,000 | 約22％低下 | 電力原単位（計） | kWh/t | 19.4 | 13.5 | 約30％低下 | （ミル、セパレーター） |  | 8.9 | 7.7 |  | （ファン） |  | 10.5 | 5.7 | 約50％低下 | （BE） |  | — | 0.1 |  |
|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 従来システム | 外部循環方式  | 効果     |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 粉碎量         | t/h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 490    | 496     |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| ミル圧損        | mmAq                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1110   | 770     | 約30％低下 |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| ファン風量       | m³/min                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 15,400 | 12,000  | 約22％低下 |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 電力原単位（計）    | kWh/t                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 19.4   | 13.5    | 約30％低下 |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| （ミル、セパレーター） |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 8.9    | 7.7     |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| （ファン）       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 10.5   | 5.7     | 約50％低下 |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| （BE）        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | —      | 0.1     |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 概算費用        | 設備の大きさ等にもよるが、概ね50百万円／一式程度の例がある。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |         |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 関連事項        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |         |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |
| 参考資料        | 第41回セメント製造技術シンポジウム報告集 p1(1984)<br>第43回セメント製造技術シンポジウム報告集 p96(1986)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |         |        |  |        |        |    |     |     |     |     |  |      |      |      |     |        |       |        |        |        |        |          |       |      |      |        |             |  |     |     |  |       |  |      |     |        |      |  |   |     |  |

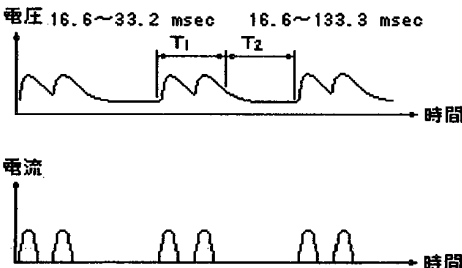
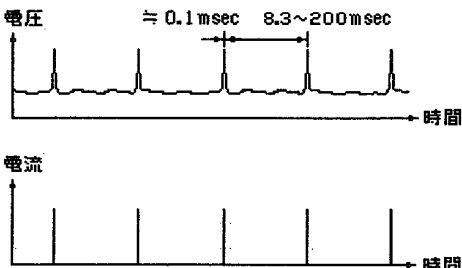
| 項 目   | 堅型ミル直接集塵システム導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 原料工程 | 1980年代後半 |
| 背景と目的 | <p>堅型ミルを用いた当初の原料乾燥粉碎システムでは、ミル循環ガス用ファンと集塵機ファンが必要であり、電力消費量も大きかった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |          |
| 技術の内容 | <p>従来の堅型ミルガスフローは、図1に示すようにガス循環型の堅型ミル（分級機内蔵）、サイクロン、ミル循環ファン、電気集塵機及び集塵機排気ファンで構成されているのが一般的である。ミル粉碎後の精粉はミル出口のサイクロン及び電気集塵機で捕集されるが、サイクロンの圧力損失が大きいいためミル系、集塵機各々にファンが必要で、これらのファンには10kWh/t 原料程度の電力を要していた。</p> <p>図2の直接集塵システムでは、ガスワンパス型の堅型ミルで乾燥同時粉碎を行い、ミル出口排ガスを直接電気集塵機に導入して精粉を捕集する方法が実用化されている。設備フローは大幅にシンプルとなり、サイクロンがないため系全体の圧力損失が低減する。また循環ファンが不要となり、集塵機ファンのみになることや清浄ガスの吸引のみになるため、ファン動力が大きく低減できる。このシステムはこれまで国内4工場で採用実績がある。</p> <div style="text-align: center;">  <p>図1 一般的な堅型ミルのフロー例</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2 直接集塵システムのフロー例</p> </div> <p>【留意事項】<br/> 直接集塵における含塵濃度は約800g/m<sup>3</sup>N程度と高いので、ダクト内での堆積防止対策や電気集塵機の機能維持に注意を払う必要がある。</p> |      |          |
| 導入効果  | ファンの省電力として、3～4kWh/t削減。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |          |
| 概算費用  | ミル能力 420 t/hの設備で新設の場合、設備全体で18億円程度の実績がある。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |          |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |          |
| 参考資料  | 第54回セメント製造技術シンポジウム報告集 p68(1997)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |          |

| 項 目        | 原料予備粉碎設備の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程 | 導入時期     |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|-------|--|-----|--------|----|-----|--------|-----|-----|-------|-----------|---|----|----|--|------------|----|------|------|--|----------|----|---|------|--|------|----|------|------|--|-------|----------|------|------|-------|----------|----------|------|------|-------|
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 原料工程 | 1980年代後半 |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 背景と目的      | 近年セメント原料の粉碎には、粉碎エネルギー効率の高い堅型ローラーミルが普及してきている。一方、既存のチューブミルは、堅型ローラーミルに比べ粉碎電力原単位が約30%程度高く、このチューブミルの粉碎効率改善が望まれていた。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |          |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 技術の内容      | <p>チューブミルは、ボールを媒体として、被粉碎物を衝撃、磨滅作用で粉碎する装置である。その多くは粗粉碎室と微粉碎室に分かれ、ボール径もこれに応じて各室毎に最適に調整される。しかしながら、粗粉碎室でのエネルギー効率は極めて低く、粗粉碎と微粉碎を同一のミルで効率的に行なうにはおのずと限界がある。</p> <p>そこで、原料の粗粉碎用として予備粉碎機を既設チューブミルの前段に別個に設置し、既設チューブミルを微粉碎機として組み合わせたシステムが考案され、電力原単位的大幅削減と生産能力の増大が実現した。現在国内では3工場で導入実績があり、ローラーミルタイプで50~100%の能力向上を達成している。</p> <p>なお、予備粉碎機には粉碎効率のよい堅型ローラーミルを利用する例が多い。</p> <div></div> <p style="text-align: center;">図1 原料予粉碎システムの例</p> <p>【留意事項】<br/>導入にあたっては、予備粉碎機とチューブミルの粉碎能力のバランス調整、すなわちチューブミルのボール径、量の最適化を図る必要がある。</p>                                                                                        |      |          |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 導入効果       | <p>表1 原料予粉碎機導入効果の例</p> <table><tr><th></th><th></th><th>導入前</th><th>予粉碎導入後</th><th>効果</th></tr><tr><td>生産量</td><td>t-RM/h</td><td>180</td><td>354</td><td>97%増産</td></tr><tr><td>粉末度88μm残分</td><td>%</td><td>17</td><td>22</td><td></td></tr><tr><td>(チューブミル電力)</td><td>kW</td><td>2550</td><td>2650</td><td></td></tr><tr><td>(予粉碎機電力)</td><td>kW</td><td>—</td><td>1120</td><td></td></tr><tr><td>電力合計</td><td>kW</td><td>2550</td><td>3770</td><td></td></tr><tr><td>電力原単位</td><td>kWh/t-RM</td><td>14.2</td><td>10.6</td><td>25%削減</td></tr><tr><td>部門系電力原単位</td><td>kWh/t-RM</td><td>34.3</td><td>26.6</td><td>22%削減</td></tr></table> <p>生産能力増により、夜間率向上・電力費削減効果も合わせて期待できる。</p> |      |          |       |  | 導入前 | 予粉碎導入後 | 効果 | 生産量 | t-RM/h | 180 | 354 | 97%増産 | 粉末度88μm残分 | % | 17 | 22 |  | (チューブミル電力) | kW | 2550 | 2650 |  | (予粉碎機電力) | kW | — | 1120 |  | 電力合計 | kW | 2550 | 3770 |  | 電力原単位 | kWh/t-RM | 14.2 | 10.6 | 25%削減 | 部門系電力原単位 | kWh/t-RM | 34.3 | 26.6 | 22%削減 |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 導入前  | 予粉碎導入後   | 効果    |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 生産量        | t-RM/h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 180  | 354      | 97%増産 |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 粉末度88μm残分  | %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 17   | 22       |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| (チューブミル電力) | kW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2550 | 2650     |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| (予粉碎機電力)   | kW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | —    | 1120     |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 電力合計       | kW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2550 | 3770     |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 電力原単位      | kWh/t-RM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 14.2 | 10.6     | 25%削減 |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 部門系電力原単位   | kWh/t-RM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 34.3 | 26.6     | 22%削減 |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 概算費用       | 規模にもよるが、概ね5億円/一式程度。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |          |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 関連事項       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |          |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |
| 参考資料       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |          |       |  |     |        |    |     |        |     |     |       |           |   |    |    |  |            |    |      |      |  |          |    |   |      |  |      |    |      |      |  |       |          |      |      |       |          |          |      |      |       |

| 項 目   | 原料セパレーター戻粉の分級                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 原料工程 | 1980 年頃 |
| 背景と目的 | <p>ダブルローテータミルを用いて原料の閉回路粉碎を行なう際に、微粉碎を行なう 2 室内にグリッドが溜り、粉碎効率を悪化させる原因となっていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 技術の内容 | <p>この現象の原因は、セパレーター戻粉中に含まれるグリッドが直接 2 室に入るためであった。そこで戻粉中のグリッドを分離し、粗粉碎する 1 室へ戻すため、セパレーターの戻りシュートに簡単なグリッドスクリーン（分級機）を設置した。1 室へ戻されたグリッドや粗粉は、大径ボールで粉碎され、また 2 室へは細粉しか戻らないためボールの小径化も可能となる。</p>  <p>図1 ダブルローテータミルの戻粉分級概念図</p> <p>【留意事項】<br/>グリッドスクリーンの詰り防止対策に工夫がいる。またスクリーンの取替等メンテナンスの必要がある。</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>ミル2室グリッド除去作業が軽減できる。電力原単位低減効果は顕著にはあられず、1kWh/t-原料未満。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 概算費用  | <p>一基1～2百万円程度。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |

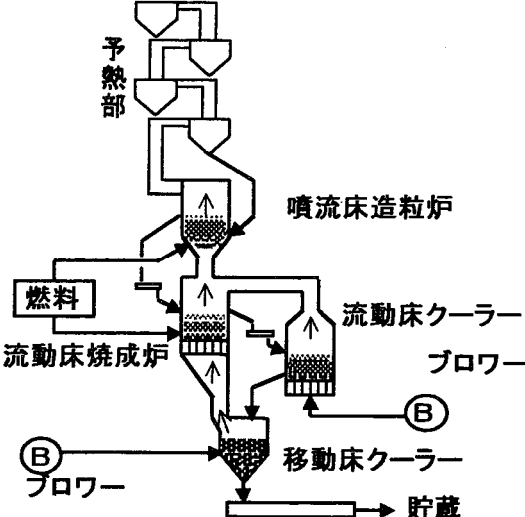
| 項 目   | 原料調合制御の自動化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 原料工程 | 1960 年代 |
| 背景と目的 | <p>連続的に生産される原料の成分を目標値に維持することは、焼成工程の安定運転（省エネ）と品質維持のために、最も基本的な事項である。</p> <p>原料成分を目標値に維持するためには、各種原料の配合比率を常に調整する必要があることから、自動制御方式が開発・導入された。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 技術の内容 | <p>セメント原料成分の調合管理は、各種原料の化学組成をベースにその混合比率を設定し、実際に調合・粉碎された原料の成分分析結果をフィードバックして混合比率の微調整を行う方式が基本となっている。</p> <p>このため、連続計量設備・自動サンプラー・ガラスビード法蛍光X線成分分析装置・コンピュータープログラムによる調合制御を組み合わせたオンライン自動制御方式が開発・導入された。</p>  <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 調合制御を適切に行うためには分析機器及び原料計量設備の信頼性確保が前提となるので、これらの点検・保守体制の整備が重要である。</li> <li>2) 自動サンプラーで採取した試料の縮分率は数十万分の1というオーダーなので、その代表性に十分注意を払う必要がある。</li> <li>3) EPダストは2次原料として原料に添加処理されるが、成分への影響を十分に考慮して行う必要がある。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 水硬率等の成分管理係数が安定し、改善の程度に対応した熱量原単位の低減につながる。</li> <li>2) クリンカー品質がより安定化する。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 概算費用  | <p>ガラスビード法蛍光X線分析装置本体      1～2億円</p> <p>自動サンプラー装置本体                      約2.5億円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |

| 項 目     | 原料粉末度の適正化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 適用工程       | 導入時期    |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|---------|--------------|------------|------|-----|-----|------|------|----|------|------|----|------|------|----|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 原料工程       | 1980 年代 |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 背景と目的   | 調合原料の粉末度はクリンカーの易焼成性に影響することから、従前はかなり細かいレベルまで粉碎されていた。原料の微粉碎は粉碎電力原単位高となることから、原料を粗大化して省エネを図る取り組みが盛んに行われた。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 技術の内容   | <p>原料粉末度は、かつての湿式法などにおいては、90ミクロン残分で数%のレベルで管理されていた。焼成方式がSP、NSPに転換されるにつれ、粉末度を粗大化することにより原料工程の電力原単位を低減する取り組みがなされ、大きな成果を得た。</p> <p>しかし、原料の粉末度は焼成時の水硬性鉱物形成の容易さに影響することから、粗大化には自ずと限度がある。原料を過度に粗大化すると、クリンカー中のフリーライムが増加する傾向となり、従来のレベルに維持するには余分な熱量が必要となる。このため原料粉末度を適正化するには、個々の条件に応じた粗大化の限界の見極めが重要である。</p> <p>原料粗大化の方法</p> <p>1) セパレーターの調整</p> <p>2) 複数セパレーターの単機使用化</p> <p>3) チューブミルにおけるボール充填率の低下</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) 原料の易焼成性の程度やキルンの焼成状況によって、粉末度の許容限度は大きく異なるので、原料の粗大化は個別に、実証的に進めるべきである。</p> <p>2) 被粉碎性の劣る原料（珪石など）が粗大な部分に偏る場合があり、易焼成性に大きな影響を与えるので注意する必要がある。</p> <p>3) 原料の粗大化を行うと超粗大粒子の精粉への飛び込みが増える場合があるので、例えば200ミクロン残分をチェックするなどして、適切な粗大化方法を確立する必要がある。</p> |            |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 導入効果    | <p>実績と推定効果…Bond の式により、new feed サイズを一定として計算すると以下のような結果になる。</p> <table><tr><th>調 査 年 度</th><th>90ミクロン残分値(%)</th><th>推定省電力効果(%)</th></tr><tr><td>1975</td><td>8.0</td><td>ベース</td></tr><tr><td>1981</td><td>11.7</td><td>11</td></tr><tr><td>1987</td><td>15.4</td><td>17</td></tr><tr><td>1996</td><td>21.2</td><td>22</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |         | 調 査 年 度 | 90ミクロン残分値(%) | 推定省電力効果(%) | 1975 | 8.0 | ベース | 1981 | 11.7 | 11 | 1987 | 15.4 | 17 | 1996 | 21.2 | 22 |
| 調 査 年 度 | 90ミクロン残分値(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 推定省電力効果(%) |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 1975    | 8.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ベース        |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 1981    | 11.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 11         |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 1987    | 15.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 17         |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 1996    | 21.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 22         |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 概 算 費 用 | 基本的には上記のような調整のみ。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 関 連 事 項 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |
| 参 考 資 料 | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |         |         |              |            |      |     |     |      |      |    |      |      |    |      |      |    |

| 項 目     | 電 気 集 塵 機 の 間 欠 荷 電                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 適用工程 | 導入時期    |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|-------|--|------|------|-------|-------|-----------|-----|----|----|------|-----------|-----|-----|-----|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 原料工程 | 1980 年代 |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 背景と目的   | <p>従来、電気集塵機では連続荷電方式が採用されてきたが、省エネルギーを目的とした間欠荷電方式が開発され、その導入が進んでいる。</p> <p>また、その後、電気集塵機の性能改善の必要性が高まり、パルス荷電方式が開発され、導入されている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 技術の内容   | <p>間欠荷電方式は、連続荷電方式の出力を周期的に間引いた波形（セミパルス）にして荷電する方式であり、出力を間引く分だけ省電力となる。また、集塵効率も連続荷電式よりもわずかながら優れているといわれており、連続荷電式の制御装置を改造するだけなので改造費用は少なくて済む。</p> <p>一方、石炭灰などの高電気抵抗値を有する廃棄物やサブミクロンレベル径の微細粒子の多量使用が進むにつれて、電気集塵機の集塵効率低下が問題となってきたため、省電力と集塵効率の改善を狙ったパルス荷電方式が導入された。</p> <p>パルス荷電方式は直流電圧にパルスを重ね合わせた電圧波形で荷電する方式で、直流電圧とパルス電圧と周期を制御する。</p> <p>但し、他の方式に比べてコストは割高となる。</p> <p>1996年現在、国内の採用状況は 連続荷電式：120基、間欠荷電式：21基、パルス荷電式：16基 となっている。</p> <div><div><p>間欠荷電</p><p>電圧 16.6~33.2 msec 16.6~133.3 msec</p></div><div><p>パルス荷電</p><p>(100 μsec)</p><p>電圧 ≒ 0.1msec 8.3~200msec</p></div></div> |      |         |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 導入効果    | <table><tr><th></th><th></th><th>連続荷電</th><th>間欠荷電</th><th>パルス荷電</th></tr><tr><td>省電力効果</td><td>消費電力比率(%)</td><td>100</td><td>65</td><td>45</td></tr><tr><td>集塵能力</td><td>集塵効率比率(%)</td><td>100</td><td>110</td><td>150</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |       |  | 連続荷電 | 間欠荷電 | パルス荷電 | 省電力効果 | 消費電力比率(%) | 100 | 65 | 45 | 集塵能力 | 集塵効率比率(%) | 100 | 110 | 150 |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 連続荷電 | 間欠荷電    | パルス荷電 |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 省電力効果   | 消費電力比率(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 100  | 65      | 45    |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 集塵能力    | 集塵効率比率(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 100  | 110     | 150   |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 概 算 費 用 | 1) 間欠荷電方式への転換費用 0.5~1.0 億円 (電気設備のみ)<br>2) パルス荷電方式への転換費用 1.5~3.0 億円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 関 連 事 項 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |         |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |
| 参 考 資 料 | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |         |       |  |      |      |       |       |           |     |    |    |      |           |     |     |     |

| 項 目   | 窯入原料輸送の機械式化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 原料工程 | 1960年代 |
| 背景と目的 | <p>SP・NSPなどのプレヒーター付キルンの場合、調合原料はプレヒーター頂部まで移送され系内に投入される。SPキルンが開発された初期の頃はキニオンポンプなどによる空気圧送が採用されていた。圧力損失が大きいため、電力原単位が高く、またコンプレッサーの故障頻度も高かったことから、より信頼性の高い、効率的な方法が求められていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |
| 技術の内容 | <p>空気圧送に代わる方式として、バケットエレベーター（BE）とエアースライダー（AS）などを組み合わせた機械式の輸送手段が採用された。プレヒーター上部まで、2～3基のBEを設置し、乗り継ぎを繰り返して頂部まで持ち上げてASなどを介して、プレヒーターに送入する。</p> <p>BEは、その構造上、無負荷動力が小さく、ASも粉体の自重を利用した輸送手段なので、空気圧送に比較して大幅な電力削減が可能である。</p> <p>また、空気圧送式では大量の圧送空気が原料とともに系内に入るためファン電力のロスが発生していたが、機械式では空気の流入を最小限に留めることができる。</p> <p>初期のBEはショートリンク型チェーンであったため、摩耗や伸びによるトラブルが多かったが、プレート型チェーンが採用されてからこれらのトラブルは大幅に減少し、現在では高い信頼性を得ている。</p> <p>1996年現在の国内の採用状況は、機械輸送式：72基 空気圧送式：2基となっている。</p> <div data-bbox="501 1099 1324 1556"> <p>BEとASの組み合わせ例</p> </div> |      |        |
| 導入効果  | 輸送距離にもよるが、80%の電力削減の例がある。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |        |
| 概算費用  | バケットエレベーター本体（2台） 約0.4億円<br>（3000t/d能力のキルンの場合）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |        |
| 参考資料  | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |        |

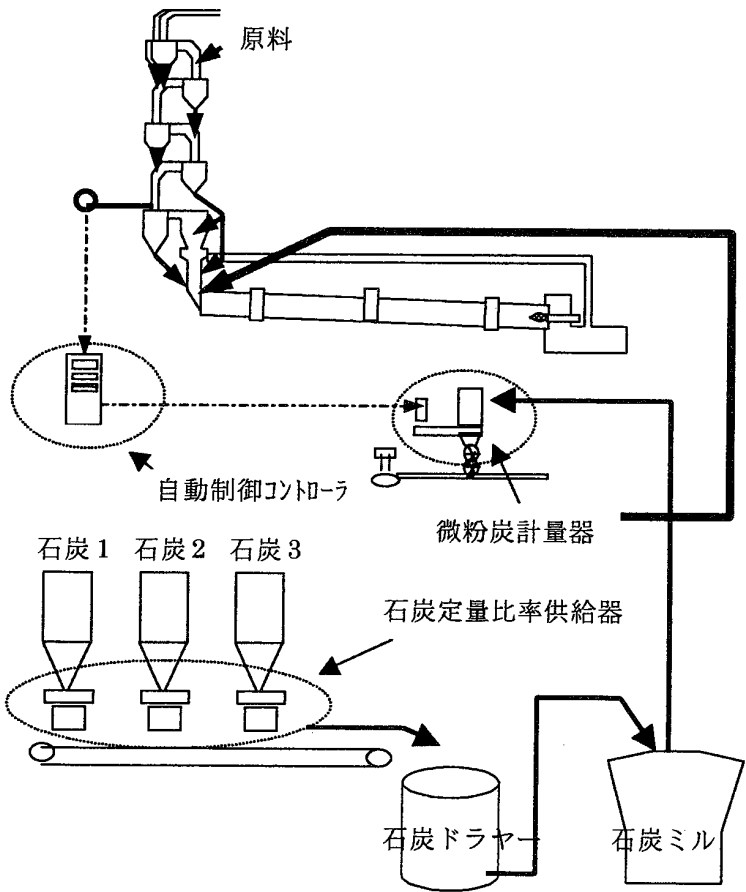
| 項 目   | NSP焼成方式の開発                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 焼成工程 | 1970年～ |
| 背景と目的 | <p>クリンカー焼成方式は、65年頃から従来の湿式焼成方式に比較して大幅に省エネ効果が促進されたSP式焼成炉が導入され主流となった。しかし、SP式焼成炉では燃料を全てロータリーキルンのバーナーで100%燃焼させる為、ロータリーキルン内の熱負荷が大きくなり耐火物原単位の増加、プレヒーター部でのコーチングトラブルなどが発生し長期安定運転や大型化が難しい等の問題が出てきた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |
| 技術の内容 | <p>SP式焼成炉の問題点を解決する為に、サスペンションプレヒーター内に独立燃焼装置を備えた仮焼炉を設置して、クリンカー焼成熱量原単位の50～60%の燃料を燃焼させるNSP式焼成炉が我国で開発実用化された。</p> <p>SP方式ではプレヒーター出口の原料の脱炭酸率が20～30%に留まるが、NP方式では90%を越える。キルン側で消費する熱量はクリンカー形成反応の必要な分のみとなり、全体の40～50%で済むことからキルン内熱負荷を減少させることが出来る。これにより、同サイズのキルンでは生産能力が増大し、キルン耐火物の損耗低下・NO<sub>x</sub>低下などの効果が生ずる。</p> <p>また、これらの総合的な効果として長時間の安定運転が可能となり、1年連続運転(約320日)が常態のキルンも出現している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> <p>図1 SP方式キルンフロー図</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>図2 NSP方式キルンフロー図</p> </div> </div> |      |        |
| 導入効果  | <p>1)最大生産能力の増大; SP式 4,000t/d→NSP式 10,000t/d</p> <p>2)熱量原単位低下; SP式 3,470～3,600kJ/kg<br/>NSP式 2,930～3,350kJ/kg</p> <p>3)NO<sub>x</sub>発生量の低下; 仮焼炉の燃焼温度が低く、2段燃焼効果によりNO<sub>x</sub>の発生量がSP式と比較して低下</p> <p>4)耐火物原単位低下; SP式 800～900g/t-cl<br/>NSP式 500～600g/t-cl</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |        |
| 概算費用  | 焼成能力 4,000t/dの規模一列(原料～焼成)でおよそ200億円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |        |
| 参考資料  | <p>第29回セメント製造技術シンポジウム報告集(1972)</p> <p>第38回セメント製造技術シンポジウム報告集(1981)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |        |

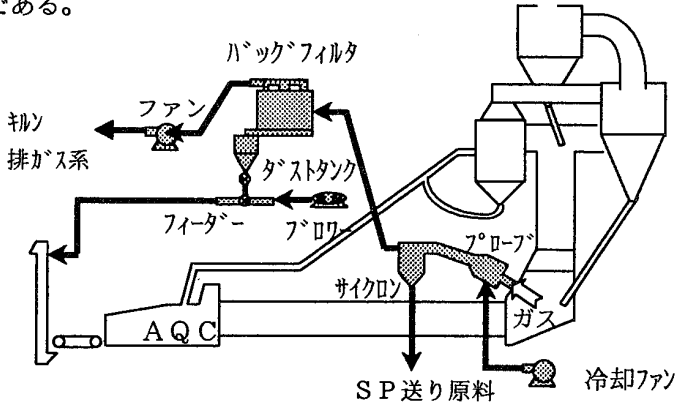
| 項 目   | 流動床セメント焼成設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 焼成工程 | 未導入  |
| 背景と目的 | <p>従来からのNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>排出量規制に加え、CO<sub>2</sub>排出量抑制など 地球環境問題への対応が迫られている。また セメント市場は 混合セメントや特殊用途・特殊工法向けのニーズが増加している。そのような環境の中、'86 年より環境調和型の高効率セメント焼成システムの開発が推進されてきた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |      |
| 技術の内容 | <p>このシステムは、噴流床造粒炉、流動床焼成炉 及び 冷却機で構成され、従来のロータリーキルンがないことに特徴がある。</p> <p>1) 予熱部：セメント原料粉を予熱する既存技術の多段サイクロン方式である。<br/> 2) 造粒部：予熱されたセメント原料粉を 1,300～1,350℃で φ1.6～2.5mm に熱間自己造粒する、造粒用種核を必要としない噴流床造粒炉である。<br/> 3) 焼成部：造粒クリンカを 1,400～1,450℃で焼成し、セメントクリンカー反応を完結させる流動床焼成炉である。<br/> 4) 冷却部：焼成されたクリンカーを 1,400℃から 1,000℃まで急冷却する流動床クーラーと 100℃まで効率よく熱回収して排出する移動床クーラーからなる。</p>  <p>【留意事項】<br/> 1) 流動化の為の通風確保は必須であり、安定した電力の確保が必要である。</p> |      |      |
| 導入効果  | <p>1) 経済性の向上<br/> (1) 燃焼・伝熱特性改善により発熱量や揮発分の低い低品位石炭の使用が可能。<br/> (2) 廃熱回収の増加により 従来型のクーラーに比べ 20%以上熱回収率が改善される。<br/> (3) 可動部分がない為 建設コスト 及び メンテナンスコストが低減される。<br/> 2) 低公害化<br/> (1) 燃焼は流動床燃焼(Non-flame)であり サーマルNO<sub>x</sub>が大幅に抑制される。<br/> (2) 燃料消費量の低減(約 10%)等により CO<sub>2</sub>排出量が抑制される。<br/> (3) 狭い温度範囲の維持や長い反応時間をとる事ができ 品質の向上、特殊品の高品質化が可能となる。</p>                                                                                                                                                      |      |      |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |      |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |      |
| 参考資料  | 第 51 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p20(1994)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |      |

| 項 目     | プレヒーターの5段化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 適用工程 | 導入時期    |  |     |     |        |      |     |       |      |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|--|-----|-----|--------|------|-----|-------|------|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 焼成工程 | 1970 年代 |  |     |     |        |      |     |       |      |
| 背景と目的   | サスペンションプレヒーター（SP）は燃焼排ガスと粉末原料との多段式熱交換装置で、4 段の場合にはプレヒーター出口ガス温度が約 400℃前後となっている。この排ガスは原料の乾燥熱源等に使用されるが、余剰の熱は散水によって調温されるなどして、顕熱が十分に利用されないまま大気に放出されていた。このようなロスを解消するひとつの方法として増段が実施されている。                                                                                                                                                                      |      |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| 技術の内容   | <p>もともと SP 4 段であるものにサイクロンを追加して 5 段式に改造する場合と建設当初から 5 段式を採用する場合がある。サイクロンを 1 段追加することにより、SP 出口ガス温度は 30～50℃程度低下する。5 段化により、より低温まで熱回収することができるので、系全体の熱効率が向上し、焼成熱量を低減できる。</p> <p>尚、本技術は廃熱発電設備の設置が採算的に困難な小規模キルンに適用される場合が多い。</p> <p>【留意事項】</p> <p>サイクロンを追加して改造する場合、そのままでは SP 全体の圧力損失が増加し、排気風車の動力費は増加する。このため、低圧損型サイクロンの採用や既設サイクロンの圧損低減対策の実施が必要である。</p> <p>改造例</p> |      |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
|         | <p>4 段に比較して、5 段プレヒーターの場合の熱量原単位は 125～170kJ/kg-クリンカー（30～40kcal/t-クリンカー）程度低い。（工場平均値） 尚、'96 年時点で導入率 23％である。</p> <table><tr><td></td><td>4 段</td><td>5 段</td></tr><tr><td>NSP 方式</td><td>100％</td><td>96％</td></tr><tr><td>SP 方式</td><td>100％</td><td>95％</td></tr></table> <p>熱量原単位比較</p>                                                                 |      |         |  | 4 段 | 5 段 | NSP 方式 | 100％ | 96％ | SP 方式 | 100％ |
|         | 4 段                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5 段  |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| NSP 方式  | 100％                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 96％  |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| SP 方式   | 100％                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 95％  |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| 導入効果    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| 概 算 費 用 | 日産 2500 トン（クリンカーベース）でサイクロン 1 段追加 1～2 億円程度                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| 関 連 事 項 | サイクロンの低圧損化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |  |     |     |        |      |     |       |      |
| 参 考 資 料 | 1）セメント産業における省エネルギー・環境保全技術調査報告書<br>2）社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-20                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |  |     |     |        |      |     |       |      |

| 項 目   | 仮焼炉の改善                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 焼成工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>サスペンションプレヒーターに設置された仮焼炉では、原料中の石灰石の熱分解を促進するために使用熱量のおよそ50～60%が消費される。</p> <p>NSPが盛んに設置されていた頃の燃料は重油が主体であり、仮焼炉も重油の燃焼特性に合わせて設計されていたが、オイルショック以後の石炭燃料転換に伴って最適化のための改造が進められてきた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |         |
| 技術の内容 | <p>1) 燃焼性の良好な重油を使用していた設置当初の仮焼炉の容積では燃焼速度の遅い微粉炭の燃焼を完了させることは困難であった。(A)</p> <p>2) このため、微粉炭の滞留時間延長のための仮焼炉容積の拡大が行われ、燃焼改善のためのバーナーの配置、クーラーからの2次空気の導入方法が工夫された。(B)</p> <p>3) 仮焼炉の容積拡大は設置当初、比較的燃焼性の良好な高揮発炭の使用が主体であったため、仮焼炉天井部の嵩上げ程度の微増に留まっていたが、より低揮発炭の燃焼に対応するために仮焼炉からボトムサイクロンへのダクト延長が行われ、微粉炭燃焼時間の確保が図られている。(C)</p> <p>最近コスト低減目的等によりオイルコークス等の難燃性の燃料の使用が増える傾向にあるが、燃焼性向上のためにはある程度的高温が必要であり、仮焼炉内の温度分布改善のため、①クーラーからの2次空気の高温化(クーラー本体の高効率化等)、②微粉炭粒度の細粉化、③バーナーの高効率化、セッティング位置の最適化等の対策がとられるようになってきた。</p> <div style="text-align: center;"> <p>(A) (B) (C)</p> <p>原料</p> <p>ボトムサイクロン</p> <p>仮焼炉</p> <p>バーナー</p> <p>クーラーからの2次空気</p> <p>クーラーからの2次空気とキルン排ガスの混合ガス</p> <p>原料</p> <p>クーラーからの2次空気</p> <p>原料</p> <p>原料</p> <p>クーラーからの2次空気</p> <p>原料</p> <p>仮焼炉有効容積</p> <p><math>V = 169 \text{ m}^3</math>      <math>V = 230 \text{ m}^3</math>      <math>V = 460 \text{ m}^3</math></p> </div> <p>図 仮焼炉の改善例</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>(1) 平均揮発分15～20%までの固体燃料の使用が可能。</p> <p>(2) 熱量原単位低減 (B)のシステムと比較して 80～125 kJ/kg (20～30 kcal/kg)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |         |
| 概算費用  | 2～3億円 (焼成能力 3,000 t/dの規模)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 関連事項  | 仮焼炉の燃焼改善                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |

| 項 目   | 仮焼炉の燃焼改善                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 焼成工程 | 1990 年代 |
| 背景と目的 | <p>仮焼炉用の燃料は、従来、比較的高揮発分の石炭が使用されてきたが、より安価な燃料の使用が求められる中で、低揮発分石炭等を使用する燃焼技術の改善が進められた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 技術の内容 | <p>高揮発分燃料使用の条件のままで低揮発分燃料を使用すると、燃えきり時間が長くなるため、仮焼炉燃焼温度の低下やボトムサイクロン出口ガス温度の上昇などの現象につながる。生産量及び熱量原単位が悪化することから、低揮発分燃料を使いこなす技術の開発が進められた。</p> <p>仮焼炉の燃焼改善技術には次のようなものが採用されている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 微粉炭搬送用空気比（固気比）の低下（冷空吹込み量の低減）</li> <li>2) 仮焼炉用抽気温度の上昇対策 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 仮焼炉用抽気ダクトの内張断熱</li> <li>(2) クーラー熱回収効率の改善</li> </ol> </li> <li>3) 燃料粉末度の微細化 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 燃料粉碎ミル・セパレーターの改善（微粉碎能力・分級効率改善）</li> </ol> </li> <li>4) バーナーセット位置の変更（2次空気との接触・混合の迅速化）</li> <li>5) バーナーの旋回羽根構造化（燃料拡散、着火促進）</li> <li>6) 仮焼炉内での高温度燃焼領域の確保（原料との接触タイミングの調整）</li> </ol> <div data-bbox="499 999 1110 1417"> </div> <p style="text-align: center;">原料分割供給型仮焼炉の例</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 燃料の燃え切り時間は燃焼特性と粉末度によって決まるため、燃焼空間の大きさの影響が支配的である。</li> <li>2) 過度の高温化は炉壁損傷やNO<sub>x</sub> 増加などの副次的な影響をもたらす場合があるので、注意が必要である。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 燃焼性燃料使用による熱量原単位悪化の防止</li> <li>2) 平均揮発分 15～20%程度の微粉炭燃料の使用が可能となる。（燃料費低減）</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 概算費用  | 1) バーナー改造は 1～5 百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 関連事項  | 仮焼炉の改善                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 参考資料  | 第 5 6 回セメント製造技術シンポジウム p10(1999)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |

| 項 目   | ボトムサイクロン出口温度自動制御                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 焼成工程 | 1990年代 |
| 背景と目的 | <p>キルン安定運転のためには、キルン入り原料の分解度（脱炭酸率）をほぼ一定に保つ必要がある。実際の運転では、分解度の代用特性としてボトムサイクロン出口温度を運転指標として用い、これが安定して推移するように運転操作することが求められる。</p> <p>しかし、燃料発熱量の変動など種々の要因により出口温度は変化することから、すべての変動に手動操作で対応することは困難なため、これを自動制御する技術が実用化された。</p>                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |
| 技術の内容 | <p>1) 一般には、ボトムサイクロン出口温度を検出し、これが設定値と一致するように仮焼炉への燃料供給量を自動制御する。</p> <p>2) 出口温度の検出端としては、サイクロン出口ガス温度あるいは出口原料温度が使用されている。</p> <p>3) また、温度調整を原料供給量で行う方法や燃料供給量と原料供給量を組み合わせて行う方法も用いられている。</p>  <p style="text-align: center;">図 ボトムサイクロン出口ガス温度制御フロー例</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) 温度の変動要因のひとつである発熱量変動に対しては、石炭の定量比率混合を粉碎前の段階で行い、微粉炭の均一性を改善することが有効である。</p> <p>2) 燃料の空気輸送時の固気比を最適化し、脈動を抑えることも有効である。</p> |      |        |
| 導入効果  | クリンカー焼成熱量原単位0.8%削減                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |
| 概算費用  | 2百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |        |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |        |

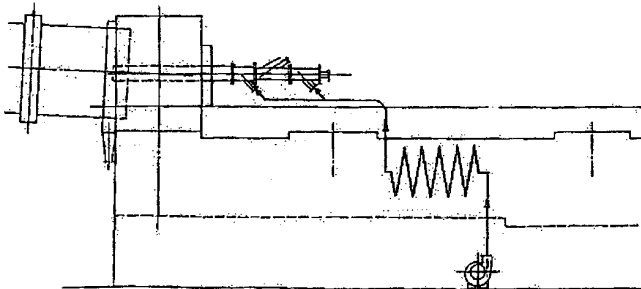
| 項 目   | 塩素バイパスシステムの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 焼成工程 | 1990 年代 |
| 背景と目的 | <p>セメント原燃料中に含まれる塩素は、キルンの高温部で揮発し比較的低温のプレヒーター下部で凝縮することを繰り返し、約200倍にも濃縮する。塩素や硫黄は、原料と反応して各種低融点化合物を生成し、プレヒーター内壁面にスケール（コーティング）を形成して通風抵抗の増加やサイクロン詰りなどの工程トラブルを引き起こす。これらのトラブルは多大なエネルギーロスを生ずるため、抜本的な対策が求められていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |         |
| 技術の内容 | <p>プレヒーターに付着するスケールの原因は、化合物の融点とプレヒーターの温度分布に対応して、立上り導管は硫化物、サイクロンは塩化物の存在が主体と言われているが、両者の過剰な存在は相乗的に深刻な問題を引起す。</p> <p>塩素バイパスは、塩素が最も濃縮しているプレヒーター下部から塩素分を効率的に回収する技術で、原料の一部を抽出する方法とガスを抽気して微細なダストとして回収する方法がある。塩素を回収することにより原料中の塩素濃度は低下し、塩素濃縮に起因するスケールの形成を解消／緩和することができる。</p> <p>2000年時点で導入率54%であり、その内ガスバイパス方式が80%を占める。バイパス率は、ガスバイパス方式の74%が1～3%であり、原料バイパス方式は全て1%以下である。</p>  <p style="text-align: center;"><b>ガスバイパスシステムの例</b></p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 高温の原料やガスの一部を系外に抽出するので、わずかに熱損失が生ずる。</li> <li>2) ガスバイパス方式で回収されるダストは軽く吸湿しやすいので、ハンドリング方法に注意を払う必要がある。</li> <li>3) アルカリや硫黄分も同時に回収されるが、濃縮率が低いことと原料中の濃度が桁違いに高いため、これらの除去にはほとんど無効である。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 高塩素に起因するスケールトラブルを大幅に低減でき、発生していたエネルギーロスや生産損失の発生を防止できる。（導入前の大部分でサイクロン詰り改善率60%以上）</li> <li>2) 高塩素含有廃棄物他の使用能力が向上する。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |
| 概算費用  | 日産5000トン（クリカーベース）で塩素バイパスシステム一式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      | 3～5億円程度 |
| 関連事項  | サイクロンスケール除去装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 参考資料  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) セメント産業における省エネルギー・環境保全技術調査報告書</li> <li>2) 第55回セメント製造技術シンポジウム報告集 p18(1998)</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |

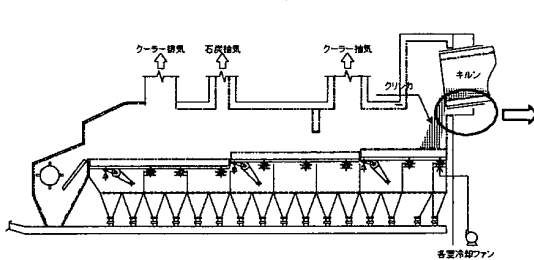
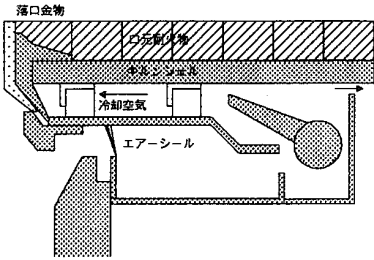
| 項 目   | サイクロンスケール除去装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 焼成工程 | —    |
| 背景と目的 | <p>セメント原燃料中に含まれる塩素やアルカリ・硫黄などは、キルンの高温部で揮発しプレヒーター下部で凝縮することを繰り返し、次第に濃縮する。そして、原料と反応して各種低融点化合物を生成しプレヒーター内壁面にスケール（コーティング）を形成し、通風抵抗の増加やサイクロン詰りによる工程トラブルを引き起こす。このようなトラブルは多大なエネルギーロスを生ずるため、各種の予防対策が実施された。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |
| 技術の内容 | <p>プレヒーター内壁面に付着したスケールの成長を防止するための除去装置が採用された。</p> <p>1) 定期的に圧縮空気をプレヒーター壁面に吹き付ける。（エアースタスター）<br/>2) 定期的に高圧水または蒸気をプレヒーター壁面に吹き付ける。（スートブロー）</p> <p>これらを人力では掃除しにくい所やスケール付着の激しい所に多数設置し、定期的に作動させてスケールの成長を防止する。</p> <div data-bbox="525 826 1286 1341" data-label="Image"> </div> <p>スートブロー装置の例</p> <p>この例では、内筒部分が伸び縮みし壁内にて筒先が回転し蒸気を吹く構造になっている。</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) 常温の空気等をプレヒーター内に定期的に導入するので熱効率が低下する問題や、吹き出し口が閉塞してしまうトラブルがある。このため、設置場所・設置台数・作動間隔等に注意を払い、適切化する必要がある。</p> <p>2) 高温部の近くに設置する場合が多いので、熱による装置の劣化防止対策や点検・保守体制の整備が必要となる。</p> |      |      |
| 導入効果  | <p>1) スケール成長防止に効果があるが、効果の程度は個々の場合によって異なる。</p> <p>2) プレヒーターの掃除作業の負荷が軽減できる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 概算費用  | <p>1) スートブロー装置一式 3百万円程度<br/>2) エアースタスター装置一式 0.5百万円程度</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |      |
| 関連事項  | 塩素バイパスシステムの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 参考資料  | メーカーカタログ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |      |

| 項 目   | 燃 焼 管 理                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 焼成工程 | —    |
| 背景と目的 | セメント焼成工程ではクリンカーを焼成するために多量の熱エネルギーが消費される。燃料の燃焼管理はセメント工場で日常的に実施されている最も基本的な省エネルギー活動のひとつである。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 技術の内容 | <p>燃焼管理には燃焼に関与する多くの側面からのアプローチがなされている。</p> <p>1) 使用燃料管理<br/>我が国で使用されている主要な燃料は石炭であり、使用銘柄の選択は価格・発熱量・燃料比（固定炭素／揮発分）・被粉碎性（HGI）などを考慮して行われる。<br/>技術的には、粉碎機的能力・バーナーの性能・仮焼炉容積など、燃料の燃焼性に関連する事項に十分に配慮して選択する必要がある。</p> <p>2) 燃料粉碎管理<br/>燃料の燃焼性に応じて、適切に設定された粉末度が得られるように管理する。特に粗大粒子の混入は未燃分増につながることから、セパレーターの分級性能が重要である。</p> <p>3) 空気比管理<br/>燃料を完全燃焼させるためには、実際の燃焼では理論空気量を超える過剰空気が必要となるが、過剰すぎるとその分の昇温に必要な熱量がロスとなる。適正な空気比を維持するために、燃焼排ガス中の酸素濃度を厳重に管理する必要がある。O<sub>2</sub>濃度計は窯尻やプレヒーター出口などに設置されているが、正確な値が表示されるように定期的に点検保守することが重要である。</p> <p>4) 排ガス管理<br/>上記のO<sub>2</sub>管理に加えてCOやNO<sub>x</sub>が測定され、燃焼管理に活用されている。NO<sub>x</sub>は、一般的にはバーナーフレームの燃焼温度の高低を反映しているとされているが、一方で排出濃度が規制されており適正な管理が必要である。</p> <p>5) キルンバーナー管理<br/>使用する燃料の燃焼特性に応じて、バーナーの燃料吐出角度や1次空気比率などの基本設計内容を見直し、最適燃焼状態を維持する努力が必要である。また、運転中においても、燃料の変化に対応してバーナーセット位置の変更や1次空気の風量調節等によってフレーム形状の最適化を図る必要がある。</p> <p>6) クーラー運転状況管理<br/>クーラーでの熱回収の良否はキルンバーナーの燃焼管理に大きな影響を与える。このため、定期修理時のメンテナンス、日常運転中の調整と管理が重要である。</p> <p>【留意事項】<br/>COは、主燃料の燃焼状態悪化以外に廃タイヤ等の廃棄物の使用により局部的に発生する場合があるので、管理する上で注意が必要である。</p> |      |      |
| 導入効果  | 熱エネルギー使用効率の向上（熱量原単位の低減）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |

| 項 目   | キルン内コーチング安定化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 焼成工程 | —    |
| 背景と目的 | <p>キルン焼成帯のレンガ稼動面に形成されるコーチングはシェル温度を低下させて放散熱を低減し、レンガを保護する機能を有する。不安定なコーチングはレンガトラブルにつながりやすく、安定運転を阻害してエネルギーロスを発生させる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |      |
| 技術の内容 | <p>キルン焼成帯に安定したコーチングを形成し、維持するために様々な工夫がなされている。</p> <p>1) 原料成分変動の防止<br/>コーチングが不安定となる原因のひとつは供給原料の成分変動である。焼成帯のコーチングが不安定なキルンでは、原料成分変動の大きさをチェックし、変動が大きい場合には改善すべきである。</p> <p>2) 燃料の燃焼状態の変動防止<br/>燃料を燃焼特性が大きく異なる銘柄に不用意に変更するとフレームパターンが大きく変化し、コーチング落下につながることがあるので注意が必要である。また、吹込み量の変動防止も重要である。</p> <p>3) キルンハンチングの防止<br/>焼成状況が周期的に変化するハンチング状態の発生は、コーチングの脱落につながりやすい。ハンチングは主にクリンカークーラーの変動から生ずるケースが多いので、クーラー運転状況の安定化をはかる必要がある。</p> <p>4) キルンバーナーの改善<br/>キルンバーナーの燃焼性能が低い場合にはコーチングの付着力が弱い場合が多く、わずかなヒートショックによってコーチングが脱落しやすい。コーチングの脱落が多い場合にはバーナーの性能にも注意を払う必要がある。</p> <p>5) レンガ材質の選定<br/>コーチング付着性はレンガ材質によっても異なる。スピネル質はマグクロ質よりも付着性が劣るので、施工位置の決定にはこの点への配慮が必要である。</p> <p>6) キルンシェルの冷却<br/>コーチングは、高温で液相となった鉱物がレンガ稼動面と接触して冷却され、固化することによって形成され则认为られる。このためシェルを強制的に冷却することによってレンガ稼動面の温度を低下させ、コーチング付着を強化する考え方がある。空冷と水冷の両者が実用化されている。</p> <p>【留意事項】<br/>シェル冷却に関して、採用時には以下の点に注意する必要がある。</p> <p>1) 冷却ファンによる空冷の場合には騒音とファン電力によるロスが問題となる。</p> <p>2) 直接散水による水冷の場合にはシェル温度計が機能しないなどの影響がある。</p> <p>3) 散水する所としない所があると、熱応力によりシェルにクラックがはいることがある。</p> |      |      |
| 導入効果  | <p>1) 放散熱量の低減<br/>2) レンガ損耗軽減（レンガトラブル防止）</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |      |
| 概算費用  | <p>1) キルンシェル空冷設備 1式 10百万円<br/>2) キルンシェル水冷設備 1式 3百万円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 関連事項  | 耐火物の断熱対策                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |      |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |

| 項 目   | キルンバーナーの改善(1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 焼成工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>ロータリーキルンで使用される燃料は、高度成長時代から第一次オイルショックまでは石油が主流であったが、原油の値上がりによってもって現在では微粉炭燃焼が主流となった。</p> <p>高品質クリンカーの製造・焼成工程の安定・熱量原単位の低減のためには、クリンカー焼成状況の変化に対応して、キルンバーナーを最適化できる技術が求められる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 技術の内容 | <p>微粉炭燃焼用に一般的に用いられているキルンバーナーの概略を図1、2に示す。微粉炭及びその搬送用空気とフレイムを調整するための直進流及び旋回流用空気の吐出口を備え、フレイム調整用空気の量比を変化させて燃料の燃焼状態を調節する機構を備えている。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>図1 キルンバーナーの概略図</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>図2 バーナー先端部概略</p> </div> </div> <p>近年、流体シミュレーション技術の進展を応用して、バーナーの燃焼状態の研究が行われており、個別のキルンの条件に応じた最適化手法の確立が期待される。</p> <p>実際のキルンバーナーの改善では、一般的に、次のような事項の改善が企図される。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 適切な高温領域（フレイム長さ）を確保する。</li> <li>2) 燃料の燃え切りを良くする。（未燃損失の発生を少なくする）</li> <li>3) 外乱による燃焼状態への影響度合いを少なくする。</li> <li>4) フレイムをある程度コントロールできるようにする。</li> </ol> <p>実用的には、キルンバーナーの燃焼状態の良否は焼成帯のコーティングの状態に反映されることから、燃焼状態の判断にキルンシェル温度データを活用することが有効である。</p> <p>4) に関しては、旋回流と直進流の個別専用ファン供給化、バーナーセット位置の運転中の調整可能化、などの改善が行われている。</p> <p>【留意事項】</p> <p>微粉炭の揮発分が極端に低いと、火炎の形成・自己燃焼の持続が不安定になり失火することがあるので、バーナー設計条件に適した揮発分の石炭を使用する。</p> |      |         |
| 導入効果  | 熱量原単位の改善                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |
| 概算費用  | バーナー本体 20～30 百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 参考資料  | <p>第43回セメント製造技術シンポジウム報告集(1985)</p> <p>環境圏の新しい燃焼工学（フジ・テクノシステム）</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |

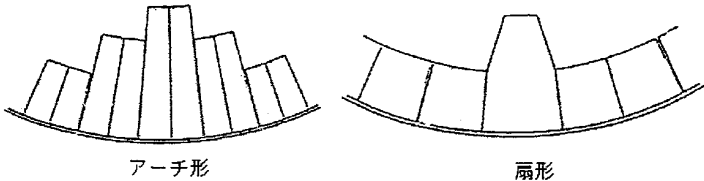
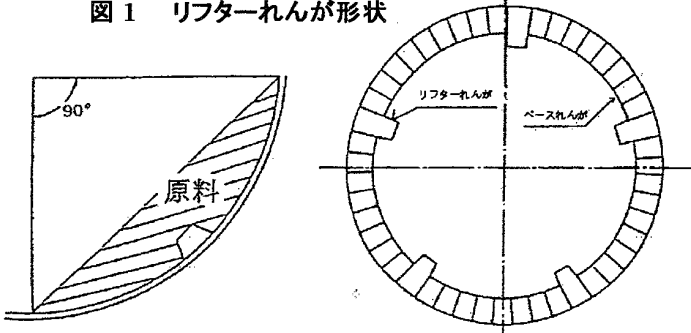
| 項 目   | キルンバーナーの改善(2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 焼成工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>キルンバーナーの燃焼用 1 次空気は常温であるため、1 次空気比率をできる限り低下させて高温の 2 次空気量を増やすことが熱量原単位低減のためには有効と考えられ、バーナー設計に反映されてきた。しかし、キルンバーナーの燃焼を適切に維持する観点から、1 次空気比率低下には限界があった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 技術の内容 | <p>1 次空気を高温化することにより燃料の着火・燃焼状態を改善し、1 次空気比率を一層低下させるシステムが考案、試行された。</p> <p>このシステムでは、キルンバーナー用 1 次空気を昇温するために、1 次空気用押込みファンからバーナーまでの配管経路中に熱交換器を設け、これをクリンカークーラー内に設置して高温 1 次空気を得る方法をとっている。</p> <p>しかし、下記留意事項に記述したように、熱交換器寿命が問題となり実用化に至らなかった。</p>  <p style="text-align: center;"><b>図 高温一次空気を用いたキルン用バーナーシステム</b></p> <p>尚、1 次空気の温度上昇に伴い、次のような項目の検討が必要となる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) バーナー先端構造の調整</li> <li>2) 配管・バーナーの材質の見直し</li> <li>3) 1 次空気ファンの見直し</li> <li>4) 熱交換器の構造と材質</li> </ol> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) その後の情報によると、この技術を初めて実施したキルンでは熱交換器寿命が問題となり、実用を中止している。</li> <li>2) 従って、導入にあたっては、高温化する温度のレベルと配管などの材質、さらには耐摩耗対策についての十分な検討が必要である。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 1 次空気温度 500℃</li> <li>2) 1 次空気比率低下 8→5%</li> <li>3) 熱量原単位低減 42～63kJ/kg</li> <li>4) クリンカー品質改善（フレイム短炎化、高温焼成化）</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 概算費用  | 40～60 百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |         |
| 参考資料  | 第 43 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1985)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |

| 項 目   | キルン口元エアースीलの強化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 焼成工程 | —    |
| 背景と目的 | <p>キルン口元シェルは、構造上自由端であり、高温クリンカーやクーラーフード内耐火物からの輻射熱にさらされる苛酷な熱的条件下にある。口元シェルに亀裂が発生するとラッパ状に開き、レンガ脱落によるキルン停止等の多大な損失を被る。</p> <p>キルン口元シェルを保護するため、適切な材質の口元耐火物の施工・落口金物の取り付けに加えて、強制空冷の実施が一般的である。その際、口元エアースीलが不十分であると、冷空がクーラー内にリークして2次空気温度を低下させ、熱量原単位の悪化につながる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |
| 技術の内容 | <p>キルン口元は二重シェル構造になっており、専用ファンあるいはクーラー冷却ファンからの分岐による強制通風冷却が行われる。</p> <p>また、熱交換後の空気の一部がクーラー内にリークして2次空気温度を低下させるのを防止するため、バネ式エアースीलやワイプレシールが採用されている。</p> <p>口元部のエアリークは、バーナーの燃焼悪化に加えて、リークエアを昇温するための燃料消費増をもたらすので、その影響は他の部分でのリークよりもはるかに大きい。</p> <p>口元部のエアリークは最小限に留めなければならない。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>図1 キルン口元部の概略図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2 キルン口元エアースील<br/>(ワイプレシール)</p> </div> </div> <p>尚、キルン口元耐火物としては、耐火キャストブルと焼成スピネルレンガが多く採用されている。また、落口金物の材質は SCH13 が大半を占めている。</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 運転中、エアースीलの状況確認は困難なので、休止時の点検・補修を確実に実施する必要がある。</li> <li>2) 口元シェル冷却において、熱交換後の空気の排出がスムーズに行われないと二重シェル内に空気が滞留して冷却空気の吹込みを阻害する。強制冷却効果を高めるために、キルン回転速度を考慮して冷却ノズルの間隔を適正にする必要がある。</li> <li>3) キルン口元シェルの劣化（亀裂の発生）は、キルン休止時の冷却方法によっても大きな影響を受けるとの報告もある。この点への十分な配慮も必要である。</li> </ol> |      |      |
| 導入効果  | リークエアー 160Nm <sup>3</sup> /min 削減により、熱量原単位 約 42kJ/kg-cl(10kcal/kg-cl )低減                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |      |
| 概算費用  | 5百万円(5,000t/d)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |      |
| 参考資料  | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-21<br>第56回セメント製造シンポジウム報告集(1998)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |      |

| 項 目   | キルン窯尻エアークールの強化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 焼成工程 | 1970 年代 |
| 背景と目的 | セメント製造プロセスにおける空気の漏れ込みは、熱量原単位と電力原単位の悪化を招く。キルン窯尻部でのエアークールは高温の燃焼排ガスの温度低下をもたらす、熱価を低下させる影響が大きいことから、空気の漏れ込み防止が重要である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 技術の内容 | <p>キルン窯尻エアークールは、キルンシェルの回転と熱膨張によって生じようとする隙間を機械的に防止する構造となっている。エアークールの構造の例を図に示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) シールはプレヒーター側とキルン側に設置した摺動板によって行われる。</li> <li>2) 摺動板はエアークールシリンダーのエアークール圧によって押し付けられ常時密着させられている。</li> <li>3) 摺動板にはグリス給油孔が設けてあり、気密性強化と摺動板の摩耗を防止している。</li> <li>4) 摺動板部に原料が漏れ出すのを防止するため、原料をキルン内へ戻す掻き揚げ箱（板）が設けてある。</li> </ol> <p style="text-align: center;">図 キルン窯尻エアークール部の構造</p> <p>【留意事項】<br/>       図中の原料受け金物とレンガ止め金物の間の隙間が摩耗等により大きくなると、原料の漏れ出しが多くなり、熱によるシール構造の変形・劣化を引起す。<br/>       休転毎に原料受け金物とレンガ止め金物の間隔を点検し、摺動板部への原料の漏れ出しを防止する必要がある。</p> |      |         |
| 導入効果  | 熱量原単位・電力原単位悪化の防止。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 概算費用  | 5～10 百万円（キルン径 6m）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |
| 参考資料  | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |

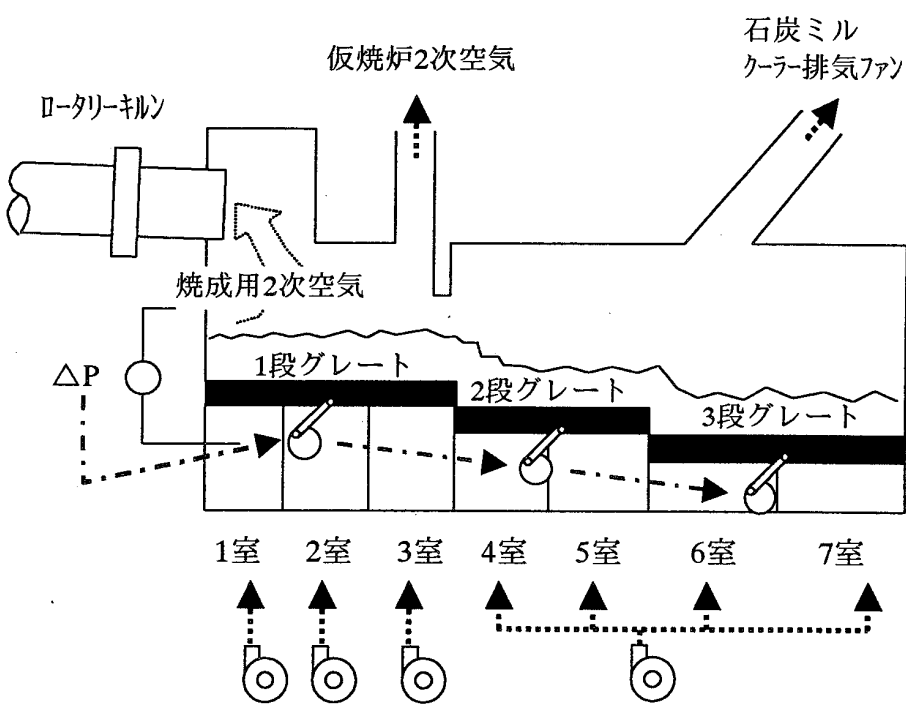
| 項 目   | 縦型石炭ミルの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 焼成工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>従前、石炭粉碎には主としてチューブミルが使用されてきた。チューブミルは多数のボールの衝突エネルギーを利用して石炭を粉碎するが、ある程度の空間が必要であるため小型軽量化には自ら限度があり、消費電力やイニシャルコストが大きくなるきらいがあった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 技術の内容 | <p>縦型石炭ミルは、同時乾燥・粉碎・分級が可能であり、チューブミルよりも粉碎効率が高く、電力原単位が低い特長があるため、オイルショック後の石炭転換時に広く普及した。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 湿った石炭は、ミル上部あるいはサイドから回転テーブル上に供給される。</li> <li>2) 水平回転するテーブルと輪転するローラーとの間に石炭を噛みこませ、ローラーの圧縮力により粉碎する。</li> <li>3) 粉碎された微粉炭は、下部から吹き込まれる熱風で乾燥されながら、ミル上部の分級機に搬送される。</li> <li>4) 分級された微粉炭（精粉）は、バグフィルターで捕集され、燃料として利用される。</li> </ol> <div data-bbox="539 840 1136 1433"> </div> <p style="text-align: center;">図 縦型石炭ミル概略図</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 石炭中に金属片が混入したままミルに供給すると、テーブルライナーやローラーが破損することがあるので、金属片の除去対策が必要である。</li> <li>2) 乾燥用熱風はクーラーやプレヒーター排ガスからの抽気が利用される。クーラーからの抽気は高温空気なので、着火防止のため温度変動を安定化する制御が必要である。ミル内部に堆積した微粉炭の自然発火により、爆発事故を引き起こすことがあるためミル起動時はできるだけ低温から起動する。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | 石炭粉碎工程所要電力の 20～25% の低減が可能である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 概算費用  | ミル本体（基礎、バンカーは除く） 60 百万円程度（10t/h）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |

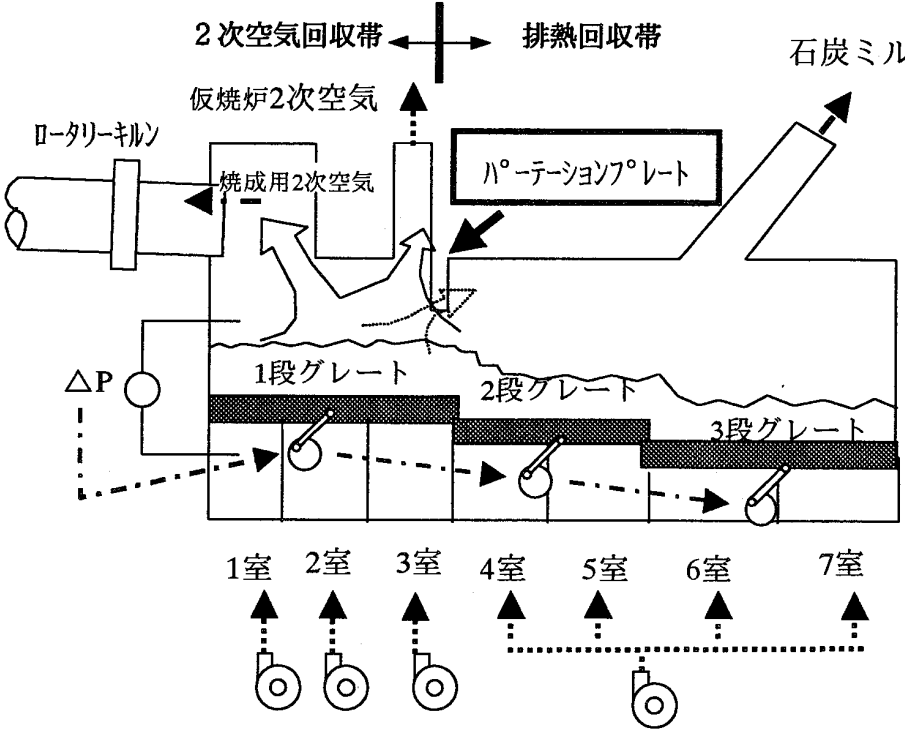
| 項 目   | 微粉炭定量供給装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 焼成工程 | 1980年代 |
| 背景と目的 | <p>セメントロータリーキルンの燃料である微粉炭の定量供給精度は、焼成工程の安定度やセメント品質に影響を及ぼす。</p> <p>供給機・計量機の選定と日常の保守管理は極めて重要である。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |        |
| 技術の内容 | <p>現在、我国で使用されている微粉炭の定量供給設備には、型式別に分けると、下記のものがある。いずれも、給粉精度は<math>\pm 1\%</math>以内で瞬時精度も高いとされている。</p> <p>1) テーブル式<br/>容積式のテーブルフィーダと計量ホッパーの組合わせで、テーブルフィーダ排出量を計量ホッパーの減量速度から算出して定量供給する。<br/>ホッパー下に水平回転するテーブルがあり、テーブル上の微粉炭はテーブルとともに回転しながら、掻き出板で掻き落される。供給量は掻き出板の押込み深さで調節される。</p> <p>2) スクリュー+インパクトライン式<br/>インパクト流量計の原理は、微粉炭が自然落下して検出板に衝突する際に発生する衝撃力の水平成分が瞬間重量流量に比例することを利用している。<br/>このインパクト流量計とスクリーンフィーダを組合わせ、スクリーンフィーダ回転数の制御によって定量供給する。</p> <p>3) テーブル+インパクトライン式<br/>インパクト流量計とテーブルフィーダを組合わせ、テーブルフィーダの回転数制御によって定量供給する。</p> <p>4) ループコンベアスケール<br/>ループ状の輸送機自体を天秤構造にして、中心線上の両端を支点として片方に粉体の入口、他方に出口を設けてある。機械構造を支点に対して左右均等としてあるため、風袋はキャンセルされている。</p> <div data-bbox="957 828 1404 1344"> </div> <p>図 定量供給機(インパクト流量計の例)</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 微粉炭は定量供給されたのち連続的に圧送式空気輸送によってバーナーに送られる機構になっているため、供給機に背圧がかかったり場合によっては吸引されたりして定量供給性が損なわれることがあり、圧送管への接続部には高いシール性が要求される。</li> <li>2) 微粉炭はフラッシング性が高いため、シール部を定期的に整備しフラッシュを防止する。また、クリアランスを小さくするとシール性が高くなる反面、異物が噛み込みやすくなるので、スライドシュー等により異物噛み込みを防止する。</li> <li>3) いずれの方式においても、精度管理の決め手は日常の点検・保守の実行である。</li> </ol> |      |        |
| 導入効果  | フラッシング・脈動のない安定した定量供給が可能となる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |        |
| 概算費用  | <p>(1) テーブルフィーダー式(20t/h) 8百万円</p> <p>(2) スクリューフィーダー式(20t/h) 6百万円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |        |
| 参考資料  | <p>社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-20</p> <p>粉流体の貯槽と供給装置(粉流体供給装置委員会編)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |

| 項 目   | リフターレンガの採用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 焼成工程 | 1980～ |
| 背景と目的 | <p>キルンの仮焼帯での熱効率向上、及び窯尻ガス温度低下によるプレヒータ部のコーティング付着防止を目的として、キルン内ベースレンガより1周4点以上レンガを突出させ原料を攪拌する。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |       |
| 技術の内容 | <p>リフターレンガは仮焼帯のベースレンガより1周4点以上レンガを100～200mm突出させ、原料を攪拌することで原料の熱交換を促進させる。また熱エネルギーを原料に十分伝達することにより窯尻温度が低下し、プレヒータ部のコーティング付着を低減させる効果が期待できる。リフターレンガの形状は図-1に示すようにベースレンガがアーチ形ならアーチ形に、扇形なら扇形にする。</p> <p>しかし、リフターレンガはベースレンガより突出しているため突出部の摩耗や、熱応力、機械応力によるクラックやスポーリングが起こりやすい。そのためリフターレンガの材質改善による耐用の延命化が図られてきた。</p> <p>リフターレンガの1周当たりの設置点数は図-2に示すようにキルン内レンガを滑らさずに攪拌しなければならないため、原料ベット中に常にリフターレンガが有ることが必要になる。この場合、キルン内原料の充填率を10%と仮定すると原料の中心角は約90°であり、最低1周4点以上のリフターレンガが必要となる。(キルン径が大きい程、1周当たりのリフターレンガ個数は多い傾向にある。)</p> <p>またリフターレンガの施工長さは2m～10mが多く、施工位置は様々だが、通常の場合、窯尻位置を0、窯口元位置を1とすれば0.1～0.4の範囲がほとんどである。</p> <div style="text-align: center;">  <p>アーチ形                      扇形</p> </div> <p style="text-align: center;"><b>図 1 リフターレンガ形状</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><b>図 2 リフターレンガ全体図、設置点数</b></p> <p>【留意事項】<br/> リフターレンガの使用に際しては、キルン内原料の舞い上がりによるドラフト変動や圧力損失に注意しなければならない。</p> |      |       |
| 導入効果  | 窯尻温度50～100℃低下によるプレヒータ付着減少。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |       |
| 概算費用  | 通常ハイアルシレンガ＝ 70千円～90千円/t<br>リフターレンガ＝ 200千円～300千円/t                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |       |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |       |
| 参考資料  | 第41回セメント製造技術シンポジウム報告集(1983)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |       |

| 項 目   | 耐火物の断熱対策                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 焼成工程 | —    |
| 背景と目的 | <p>焼成工程では高温燃焼を行うため、各設備の内壁には耐火物が使用されている。壁面からの熱放散損失を防止するため、様々な断熱対策が実施されている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |      |
| 技術の内容 | <p>焼成工程における熱放散損失は供給する熱量の4～6％程度に相当し、これを低減するため各部に応じた断熱対策が実施されている。</p> <p>1) キルン焼成帯<br/>この部分は焼成物が最も高温となり、耐火物（レンガ）の表面にコーティングが付着してレンガの保護と断熱を担っている。このため、この部分での断熱対策は安定したコーティングを形成し維持することである。</p> <p>2) キルン着脱帯<br/>この部分はコーティングの着脱が多いため、レンガ寿命の点で優位である高熱伝導率のスピネル質レンガが使用される場合が多く、シエル温度が高い。このため、スピネル質レンガを断熱化する次のような対策が盛んに試行された。<br/> (1) 高気孔率化：レンガの気孔率を上げて、低熱伝導率化<br/> (2) 二層化：高温側と低温側の材質を変えた二層構造レンガ<br/> (3) ゲタ履き式：低温側背面の一部に断熱材を装着する方式<br/> しかし、いずれも寿命の点で問題があり、現在使用されているものはほとんどない状況である。</p> <p>3) キルン仮焼帯<br/>比較的低温の仮焼帯では、従来からの高アルミナ質や粘土質の耐火レンガに加えて、低熱伝導率の耐火断熱レンガが使用されている。また、耐火断熱レンガにも焼成品と不焼成品があり、目的に応じて選択使用されている。</p> <p>4) プレヒーター<br/>プレヒーター下部の比較的高温部を除いて、背面に断熱キャストブルを使用する二層施工が行われている。最近、キャストブルの湿式吹付け工法が開発されており、施工性の改善も進んでいる。</p> <p>5) クーラー、抽気ダクト等<br/>背面に珪酸カルシウム質の断熱材を使用する二層断熱が実施されている。</p> <p>【留意事項】<br/> 1) 廃棄物等の使用量増加により仮焼帯耐火物の使用条件が従来よりも過酷となる場合があり、レンガ寿命と断熱効果との得失に留意する必要がある。<br/> 2) 部位によっては、断熱材の劣化やダストの侵入等により、断熱効果が経時的に低下することもあるので、注意が必要である。</p> |      |      |
| 導入効果  | <p>炉壁表面温度の低下に見合う放散熱の低減。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |      |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |      |
| 関連事項  | <p>キルン内コーティング安定化</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |
| 参考資料  | <p>第11回セメント用耐火物研究会報告集(1995)<br/> 第15回セメント用耐火物研究会報告集(1999)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |      |

| 項 目   | クーラーのウィズコントロール                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 焼成工程 | 1970 年代 |
| 背景と目的 | <p>SP・NSP方式の導入による生産の能力の増大に対応して、グレート式クリンカークーラーも大型化した。クリンカーが落下する幅に対するクーラーの有効幅が広すぎて、冷却空気の吹き抜けとヒートスポットが同時に発生する問題が生じた。</p> <p>吹き抜けの発生は2次空気温度の低下を、ヒートスポットはグレートの損傷を招き、安定した運転が困難な状況となるため、クーラーの改造が進められた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 技術の内容 | <p>この問題を解消するため、クーラーの実質有効幅を適切に調整するウィズコントロール（以下、ウィズコン）が試みられ、多くの経験を通じて各社が固有の技術を確認している。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) クーラーの有効幅を適切に設定するためには、クリンカー負荷、クーラーの長さ・各空気室の冷却風量・冷却ファンの能力などを考慮して総合的に判断する必要がある。実操業での経験も重要な判断要素である。</li> <li>2) 一般的には、機械的に無理のないグレート駆動速度においてクリンカーの層厚が500mm～800mmとなる程度のウィズコンが実施される。</li> <li>3) ウィズコンをどの列に行うかも問題となるが、キルンからの落下時に生じる粒度の偏りを考慮して、細流側のウィズコンを強めに実施する。</li> </ol> <p>ウィズコンは、空気室式のグレートクーラーを最適化するための基本技術であるが、最近普及しつつあるエアーストック式クーラーでも同じ考え方が成り立つ。</p> <div data-bbox="405 1032 1267 1444" data-label="Image"> </div> <p>図 ウィズコン例(穴あきグレートおよび固定(穴なし)グレート配置例)</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 下流側でウィズコンの拡幅を行う場合、赤い河が発生している部分での実施はグレート焼損につながりやすいので、避けるべきである。</li> <li>2) 固定（穴なし）グレートの焼損防止のため、その上に耐火物を施工する。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 冷却空気の吹き抜け防止による熱回収効率改善（熱量原単位低減）</li> <li>2) グレート焼損防止</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |
| 概算金額  | 3百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 関連事項  | AQC速度自動制御<br>エアーストック式クーラー                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |         |

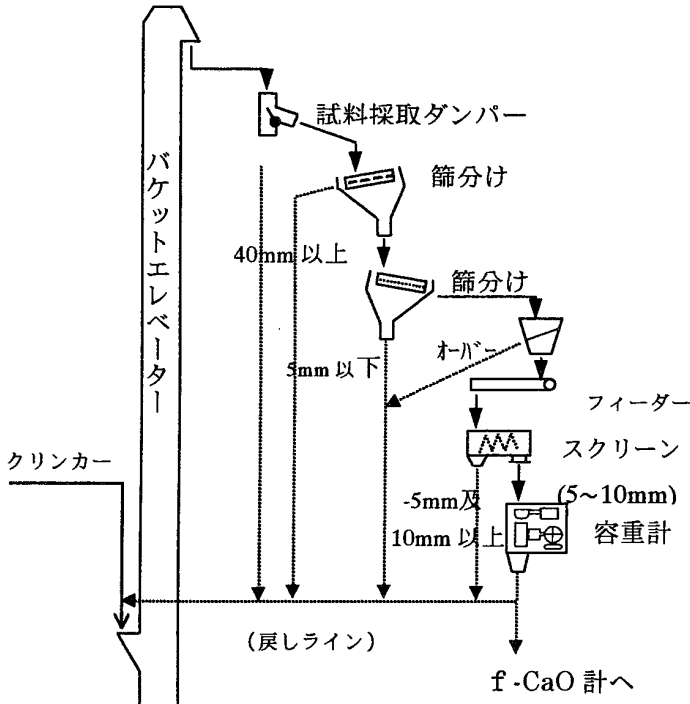
| 項 目   | AQC グレート速度自動制御                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 焼成工程 | 1970 年代 |
| 背景と目的 | <p>クリンカークーラーの2つの重要な機能である高温の2次空気の回収とクリンカーの輸送をバランス良く機能させるためには、グレート上のクリンカーの層厚を常に適切なレベルに維持する必要がある。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 技術の内容 | <p>1) クーラー1室の風圧をグレート上のクリンカー層厚の代用特性として、1室風圧が常に設定値となるように1段グレートの駆動速度を自動制御する。</p> <p>2) この制御はクリンカーの性状が変化すると応答が過敏となる場合もあることから、不感帯を設けてステップ状に制御する方式と組み合わせて、クーラーの状況に応じて制御方式を切り替えるなどの工夫をしている場合もある。</p> <p>3) 1段グレート速度が変化するとクリンカーの輸送量も変化するので、時間遅れを考慮したグレート速度比例制御を2段および3段グレートに対して行い、クリンカー層厚を一定に保つようにする。</p>  <p style="text-align: center;">図 AQC速度自動制御概要図</p> |      |         |
| 導入効果  | 適正な層厚維持による熱回収効率改善（熱量原単位低減）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 関連事項  | クーラーのウィズコントロール                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |

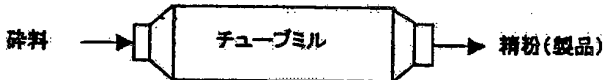
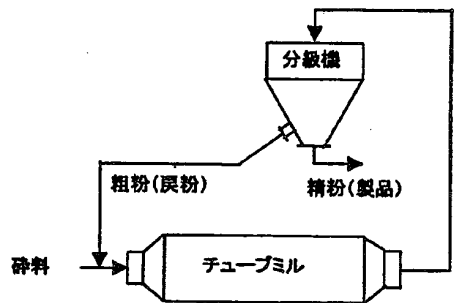
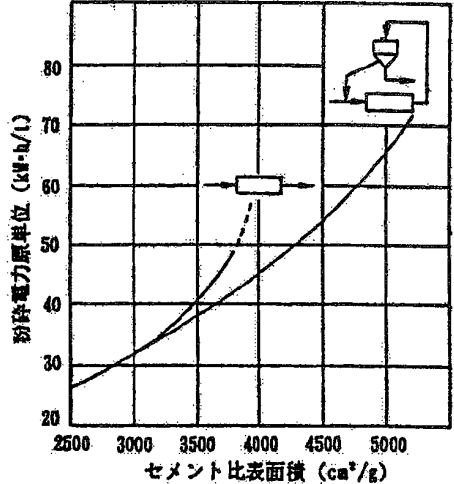
| 項 目   | パーテーションプレートの設置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 適用工程 | 導入年代    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 焼成工程 | 1970 年代 |
| 背景と目的 | <p>クリンカークーラーで高温の2次空気を回収するためには、必要な2次空気量に相当する冷却風量を吹き込む領域（以下、2次空気回収帯）とそれ以降の領域（以下、排熱回収帯）に分けて考え、前者における熱回収効率を出来る限り高める必要がある。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 技術の内容 | <p>グレート上の、高熱クリンカーは下層からの冷却が進むので、2次空気回収帯のクリンカー層の上部は高温状態のままであり、輻射による熱放散が多い。</p> <p>1) この輻射熱を2次空気回収帯内に留め2次空気の昇温に活用するために、2次空気回収帯と排熱回収帯の境界位置にパーテーションプレートを設置する。</p> <p>2) パーテーションプレートは仮焼炉用抽気口の後方、1段グレート後端の上方に設置される。一般的には固定式が多いが可動式のものや下部を吊り下げ式にしたものもある。</p>  <p style="text-align: center;">図 AQCパーテーションプレート設置例</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) パーテーションプレートの本来の目的からはクリンカー層表面近くまでセットすべきであるが、大塊クリンカーの排出とフッドドラフト制御の有効性確保のために、その高さには注意が必要である。</p> <p>2) 耐久性ならびに修繕費を考慮した耐火物選定が必要。</p> |      |         |
| 導入効果  | 適正な層厚維持による熱回収効率改善（熱量原単位低減）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 概算費用  | 2百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 関連事項  | クーラーのウィズコントロール                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |

| 項 目   | エアーム式クーラーの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 焼成工程 | 1990 年代 |
| 背景と目的 | <p>クリンカー保有熱の燃焼用 2 次・3 次空気への熱回収効率の向上は、焼成工程における最も重要な省エネ技術の一つである。一般的なグレート式クーラーでは熱回収効率が 50～60%程度に留まり、より一層の改善が期待されていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |         |
| 技術の内容 | <p>キルンから排出された高温クリンカーはグレート上に落下するが、クリンカー粒度の偏りや不均一なクリンカー層厚の状況が生じる。このため、従来の空気室単位で冷却空気を供給する方式では、グレート位置によって冷却空気の通風状態が異なることとなり、熱回収効率の改善には限界があった。</p> <p>エアーム式はこの問題に対処した技術で、次のような特徴がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) グレート 4～8 枚程度で構成するブロック毎に冷却空気を直接供給。</li> <li>2) 通風抵抗値の高い、微細クリンカーが漏れにくい、構造のグレートを採用。</li> <li>3) クリンカー落下部～主熱回収領域に部分的に適用可能。</li> </ol> <p>冷却風量の調節がブロック毎に可能なため風量配分の最適化が可能となり、熱回収効率が改善される。又、グレートの寿命も延びる。</p> <p>2000 年現在における我国のキルンへの導入率は約 30%であるが、適用範囲がクリンカー落下部のみの改造が多く(71%)、熱回収効率改善は 5%未満に留まる場合が 57%を占めている。落下部のみの改造では必ずしも十分な効果が得られないことを示している可能性もある。</p> <div style="text-align: center;"> <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>空気室式グレートクーラ</span> <span>エアーム式グレートクーラ</span> </p> </div> <p style="text-align: center;"><b>冷却空気供給方法の比</b></p> <p><b>【留意事項】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) エアーム式には数タイプがあり、クリンカー落下部のグレートが全固定傾斜式と交互可動水平式に大別される。全固定傾斜式では筈トラブルが発生する場合がある。</li> <li>2) エアーム方式は空気室式よりも空気配管が複雑となるので、設備の点検・保守の容易さに十分配慮すべきである。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 熱量原単位 42～167 kJ/kg(10～40kcal/kg)程度低減</li> <li>2) 電力原単位 0.5～1.5 kWh/t 程度低減。</li> <li>3) グレート損傷低減 (寿命延長)</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |         |
| 概算費用  | 1.5～3 億円/基程度。(クーラー 1 段目改造の場合)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 関連事項  | クーラーのウィズコントロール                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |
| 参考資料  | <p>第 54 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1997)</p> <p>第 55 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1998)</p> <p>第 56 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1999)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |

| 項 目   | キルン運転の自動制御                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 焼成工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | セメント焼成プロセスは外乱が多いこと、時定数が長いこと、測定点が限られることなどの特性を有している非常に複雑なプロセスである。このため、キルンはオペレーターの固有技術によって運転されてきた。そこで、クリンカ品質の安定化、運転の安定化、オペレーターの負荷軽減、運転操作の標準化を目的として、キルン運転の自動制御化が検討されてきている。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 技術の内容 | <p>キルン運転の自動制御については様々な方法が考えられているが、通常、キルン電力・原料投入量・キルン回転数・燃料供給量を主要な操作端としている。また、キルンの状態（定常、非定常等）にあわせて制御方式を選択している場合が多い。以下に代表的な制御方法を示す。</p> <p>1) 最適（統計計算）制御<br/>多入力・多出力系プロセスの動特性を統計的に処理し、適切な操作端、操作量を決定する制御。</p> <p>2) モデル予測制御<br/>モデルに従って原料が受ける総受熱量等の予測を行い、そこで計算される将来の値が目標と一致するように操作端を制御。</p> <p>3) ルール（ファジィ）制御<br/>オペレーターの経験に基づく判断などのあいまいさを含む制御アルゴリズムを I F ~ T H E N 形式で表現し、ファジィ推論を用いて操作を行う制御。</p> <p>オペレーターはプロセス状態を監視し、短・中・長期的な視点からプロセスのバランスを考慮した目標を設定して運転操作を行っているが、自動制御で同等な成果を得ることは容易ではなく、全体としてはまだ開発途上の段階と考えられる。</p> <p>2000 年度の調査では、自動制御はキルン総数の 25% に導入されたが、現在も実施中であるのは 13% 程度である。また、自動制御を導入したキルンの内 35% は満足と評価しているが、残りの 65% は改善の余地があると考えられる。</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) 制御システムを常に機能させるには、計測値の信頼性確保やシステムソフトの維持管理が重要である。</p> <p>2) 緊急時の対応方法は、自動制御をオフにし手動操作で対応する場合が多い。</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>1) キルンの運転状態が安定し、品質が安定する。</p> <p>2) オペレーターの負荷軽減。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 概算費用  | 制御機器一式数百万円程度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |
| 参考資料  | <p>1) 第 45 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p44(1988)</p> <p>2) 第 50 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p112(1993)</p> <p>3) システム総合開発社編：エンジニアのためのプロセス解析と制御，工業技術社（1989）</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |

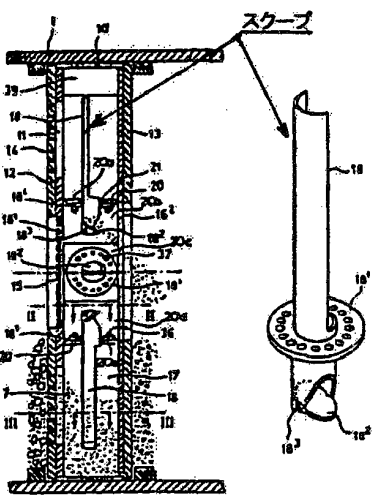
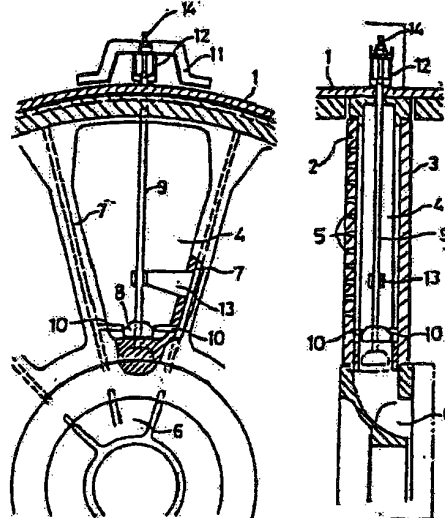
| 項 目   | フリータイム自動測定装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 焼成工程 | 1990 年代 |
| 背景と目的 | <p>クリンカ中のフリータイム（以下、f-CaOと略す）は、クリンカーの容重とともに、クリンカーの焼成度を知る上で重要な因子である。</p> <p>従来、f-CaOの測定は、化学分析法によって、通常1～3回/日程度実施していたが、自動測定装置を導入することによって測定頻度（24 回/日以上）が飛躍的に増加する。</p> <p>クリンカーの焼成度に関する情報量が増し、これを運転操作に反映することにより、品質の安定化及び熱量原単位の低減を図ることができる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 技術の内容 | <p>クリンカー中の f-CaO のオンライン自動測定方法には次の 2 方法が知られている。</p> <p>1) X線回折法</p> <p>我国で開発された技術で、サンプリングした代表クリンカーを微粉碎して加圧成形し、X線回折装置でCaOの回折強度を測定することにより、f-CaO濃度を求める。この方法では、同じ成型試料を蛍光X線分析装置にかけることにより、クリンカーの成分分析ができる。また、化学分析法や電気伝導度法のように処理のための薬剤（溶媒）を必要としない特徴がある。</p> <p>【留意事項】</p> <p>X線強度を安定させるため、試料をブレン値で 3,000～4,000cm<sup>2</sup>/g に粉碎し、適正な成形圧で成形することがポイントである。</p> <p>2) 電気伝導度法</p> <p>(1) 測定原理</p> <p>クリンカー中の f-CaO は、溶媒であるエチレングリコール中に次式で反応溶解する。</p> $\text{CaO} + (\text{CH}_2\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + (\text{CH}_2\text{O})_2^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ <p>溶液に伝導度をもたらすのは、Ca<sup>2+</sup>と(CH<sub>2</sub>O)<sub>2</sub><sup>2-</sup>である。</p> <p>これらのイオンは、濃度に比例した導電性を示すので、電気伝導度を測定することにより、クリンカー中の f-CaO 量を測定することができる。</p> <p>(2) システムの概要</p> <p>サンプリングしたクリンカーを f-CaO 測定装置に搬送し、ディスクミルによって粉碎する。この粉末クリンカーと溶媒のエチレングリコールを一定量、ビーカーに投入し、電気伝導度を測定する。</p> <p>【留意事項】</p> <p>クリンカー粉末が粗いと f-CaO の溶媒への抽出速度が低下し測定時間が長くなるため、なるべく細かく粉碎する。</p> <p>(32μm ふるい残分：8%、抽出時間：300sec)</p> <p>尚、f-CaO 自動測定は別項の容重自動測定と組み合わせて実施されることが多い。</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>f-CaOデータの推移傾向を運転操作に反映することにより、品質の安定化及び熱量原単位の低減を図ることができる。</p> <p>尚、2000 年度現在、導入率は 35%（電気伝導度法：57% X線回折法：43%）である。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |         |
| 概算費用  | <p>(1) X線回折法 約 35 百万円(キルン能力 5,000t/d)</p> <p>(2) 電気伝導度法 約 30 百万円(キルン能力 5,000t/d)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |         |
| 関連事項  | 容重自動測定                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 参考資料  | <p>第 46 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1989)</p> <p>第 50 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1993)</p> <p>第 51 回セメント製造技術シンポジウム報告集(1994)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |

| 項 目   | 容重自動測定装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 焼成工程 | —    |
| 背景と目的 | <p>クリンカーの品質を一定に保つことは、セメント製品の品質を安定して維持する為に重要である。クリンカーの容重はキルンバーナーの燃焼状態やクリンカー鉱物の焼成状況を反映するので、キルン運転の重要指標のひとつとして広く利用されている。</p> <p>しかし、従来人手により測定を行っていたため、測定精度や測定回数が制限されるなどの問題があった。このため、測定の自動化が望まれていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                     |      |      |
| 技術の内容 | <p>クリンカーの輸送系の途中にサンプラーを取り付けて、5－10mm径のクリンカーを選択的に採取し、一定容量の重量測定容器に自動供給し、その重量を測定して容重を計算する。オペレーターは測定結果を参考にして運転状態の調整を行い、最適状態を維持する。</p> <p>尚、本装置単独で設置されるケースはまれで、通常、f-CaO自動測定装置やクリンカー成分自動測定装置等と組み合わせて使用されている。2000年時点での導入率は約20%であり、大部分がオンラインによる測定を実施している。</p>  <p style="text-align: center;">容重自動測定システムの一例</p> <p>【留意事項】<br/>測定するサンプルの代表性を十分確認しておく必要がある。</p> |      |      |
| 導入効果  | 容重データの信頼性・継続性が改善され、運転操作がより適切化される。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |      |
| 概算費用  | 本体のみで8百万円程度。(サンプラー、サンプル輸送系等は含まない。)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |      |
| 関連事項  | フリータイム自動測定装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |
| 参考資料  | メーカーカタログ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |      |

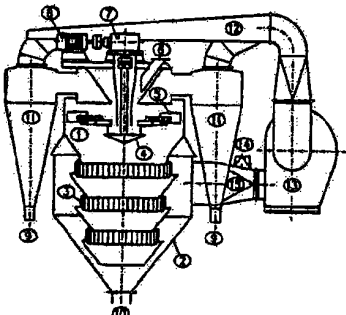
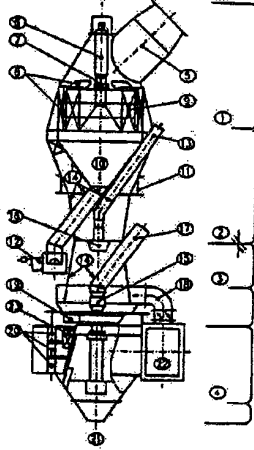
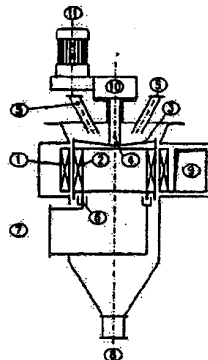
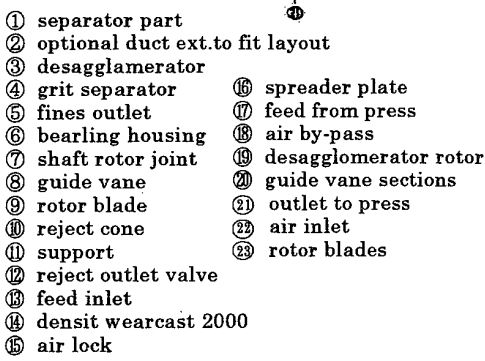
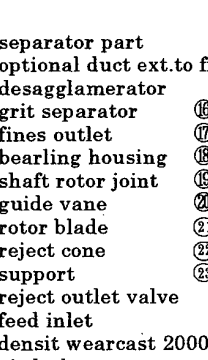
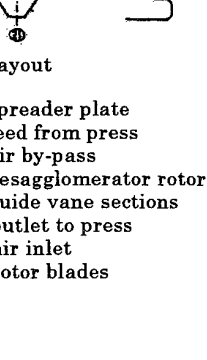
| 項 目     | 閉回路粉砕システム                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 適用工程 | 導入時期    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 仕上工程 | 1950 年代 |
| 背景と目的   | <p>チューブミルによる初期の粉砕システムでは、砕料がミルに送入・粉砕され、ミル出口より排出された砕製品の全量がそのまま製品となった。</p> <p>この方式は開回路粉砕システムと呼ばれ、粗粒が残る一方で過粉砕も同時に起こるために製品の粒度分布が広く、品質と運転効率の両面から改善すべき課題であった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |
| 技術の内容   | <p>閉回路粉砕システムは、開回路システムに大型の分級機を付設したもので、粉砕された砕料は、全量セパレーターに導かれ精粉（製品）と粗粉（戻粉）に分級される。粗粉はミルに戻され新しく送入された砕料と共に再び粉砕される。</p> <p>閉回路粉砕システムの運転状態を表す重要指標のひとつはセパレーターからの戻粉量とニューフィード量との比率である循環率であるが、ミルの設備条件（ボールサイズ、ライナー形状、スリットサイズ）・セパレーターの分級能力・砕料の特性（クリンカ粒度、クリンカ被粉砕性）などによって最適値が異なるため、ミル毎に最適値を把握することが重要である。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>図1 開回路粉砕システム</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2 閉回路粉砕システム</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図3 開回路粉砕と閉回路粉砕での電力原単位例（セメント粉砕）</p> </div> </div> |      |         |
| 導入効果    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 粉砕能力が増加する。</li> <li>2) 精粉の粒度分布がシャープになる。</li> <li>3) 精粉温度が低くなる。</li> <li>4) 電力原単位が低減される。</li> <li>5) ライナーやボールの摩耗が少なくなる。</li> <li>6) 循環率やセパレータの運転状況を変更することにより製品の粒度分布を調整できる。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |         |
| 概 算 費 用 | 1. 5 億円（3000kW ミル）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 関 連 事 項 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 参 考 資 料 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |

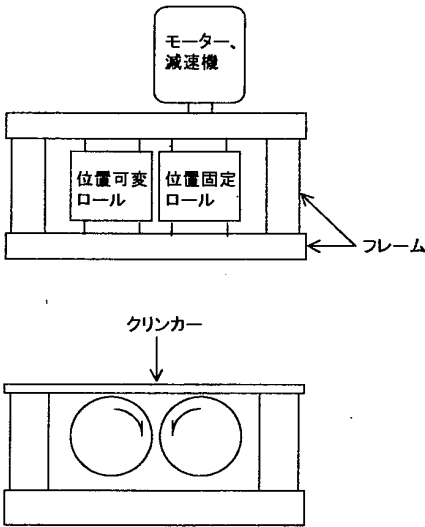
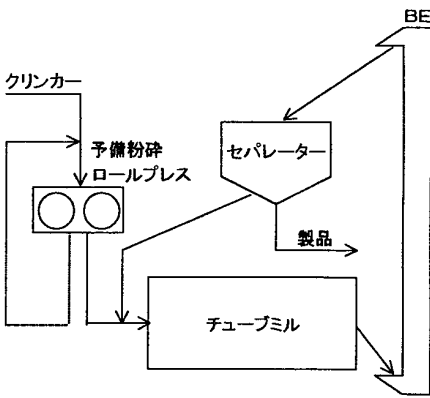
| 項 目   | 粉砕助剤の使用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 仕上工程 |      |
| 背景と目的 | <p>一般に粉砕機の粉砕エネルギー効率は非常に低い。そこで粉砕媒体および被粉砕物以外の第三物質を少量添加することにより、その粉砕効率を向上させることを目的として粉砕助剤が使用される。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 技術の内容 | <p>1) 粉砕助剤の作用原理は下記の通り。<br/>           チューブミルの場合、微粉砕段階になると一般に粉砕効率が著しく低下する。これは被粉砕物の微粉の凝集（アグロメレーション）が起り、ミルのライナーや粉砕媒体にコーティングとして付着してミルの衝撃力が弱まること、および凝集した微粉がセパレータにて粗粉側に紛れ込み、ミルに再循環するためである。アグロメレーションが起こる原因については種々の説があるが、エーライト等が結晶粒内破壊をする際に、その破壊面の極性に偏りが生じるためであるとする説が有力である。粉砕助剤はこのアグロメレーションを防止することにより、粉砕効率を向上させる作用を持つものである。</p> <p>2) 粉砕効率を向上させる物質は多数存在しているが、実際に用いられるためには次の条件を満足していなければならない。</p> <p>(1) 粉砕費の節約に見合う価格以下であること<br/>           (2) 製品の品質に対して無害であり、むしろ品質を改善するものであること<br/>           (3) 上記の条件を満足する粉砕助剤として最も広く用いられているものは、ジェチレングリコールである。<br/>           (4) 粉砕助剤の添加方法は仕上ミルに供給するクリンカーに 0.01～0.03%の割合で定率添加するのが一般的である。</p> <p>【留意事項】<br/>           1) 添加率が高過ぎると、セメントの流動性が良くなり過ぎて、フラッシング等ハンドリング上のトラブルが発生することがある。<br/>           2) 添加率を過度に上げて行くと、効果は次第に頭打ちになる。</p> |      |      |
| 導入効果  | <p>1) 添加率 0.01%につき粉砕量 4～6%増加。<br/>           2) セメント（粉体）の分散性・流動性改善効果や風化遅延効果もある。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |      |
| 概算費用  | <p>1) ジェチレングリコール価格 30～100 千円/kl<br/>           2) 添加設備一式 数十万円～数百万円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |

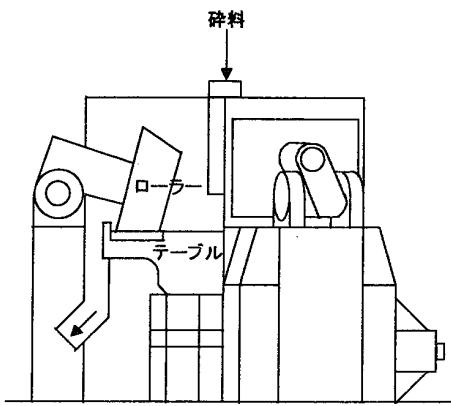
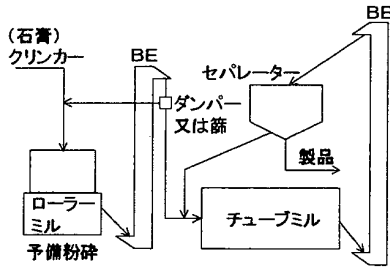
| 項 目   | チューブミル2室の分級ライナー化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 仕上工程 | 1970年代 |
| 背景と目的 | <p>仕上ミル2室では微粉碎が中心となるため、小径ボールを使用して媒体の表面積を増やし、摩砕作用を強化する方がより効率的であることが知られていた。</p> <p>しかし、従来のリフター付ライナーを採用していたミルでは、2室入口側に小径ボール・出口側に中径ボールが集まる逆分級状態が生じてしまい、粉碎効率が極端に低下するので、思い切ったボール小径化は困難であった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |        |
| 技術の内容 | <p>この逆分級状態を解消することを目的に分級ライナーが開発された。</p> <p>分級ライナーはミル入口側に向かって傾斜している形状であるため、掻き揚げられたボールはミルの入口方向に転がる。また、大径ボールほどミルの回転力（遠心力）の作用を受け、ミル入口側に移動するため、徐々にボールが分級（2室入口側ほどボール径が大きい）される。</p> <p>分級ライナーの開発によって、2室に20～17mmφの小径ボールの使用が可能となり、過粉碎することなく効率的な微粉碎が行えるようになった。</p> <p>尚、2室入口での粗砕能力も改善されることから、状況によっては1室の短室化（2室の長室化）によってミル全体としての粉碎能力が向上する場合もある。</p> <div data-bbox="518 896 1236 1232"> </div> <p>図1 分級ライナーとリフター付きライナー</p> <div data-bbox="470 1355 1348 1646"> </div> <p>図2 分級ライナーの種類</p> |      |        |
| 導入効果  | <p>1) 電力原単位が1～2 kWh/t 低減する。</p> <p>2) 最適循環率が従来より小さくなり、セパレータや輸送機の負荷が軽減される。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |        |
| 概算費用  | 35百万円（3000kWミル）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |        |
| 関連事項  | 予備粉碎設備の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |        |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |        |

| 項 目   | チューブミルのクリンカ流量調整装置                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 仕上工程 | 1980年代 |
| 背景と目的 | <p>チューブミルによる粉碎を効率よく行うためには、ボール量に対して適切な碎料の量を確保すること、即ち粉体レベルの維持が重要である。</p> <p>1室で粗砕されるクリンカの粉体レベルは、出口中仕切り目板の開口比率とスリットサイズの大きさによって左右されるが、一般的にはミル詰りを防止するために、最適値よりも過大に設定されている場合が多い。</p> <p>このような状況では、1室の粉体レベルが低い状態となって大径ボールが空打ちを起こし、無駄なエネルギーを浪費することになる。またクリンカが十分に粗砕されぬまま2室に移動するので、2室での微粉碎の能力が低下することになる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |        |
| 技術の内容 | <p>1室の粉体レベルを適正に維持するためには、中仕切りのスリットサイズと数の調整を行えばよいが、溶接作業には手間が掛かりこまめな調整ができないこと(クリンカのサイズ)被粉碎性(粗砕性)は状況によって変化することなどから、状況に応じて調整が可能なクリンカ流量調整装置が導入あるいは開発された。</p> <p>クリンカ流量調整方式には中仕切りに流入した碎料をスクープで汲み上げ、このスクープの汲み上げ角度により流量をコントロールする方式や、碎料排出口に開閉弁を取付け、これをミル外部から操作できる方式などがある。</p> <p>粉体レベルの代用特性である1室の音圧レベルによって適否を判定し、流量調整装置で1室での粗砕が十分に行われるよう調整することにより、粉碎エネルギーのロスを防止できる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>図1 クリンカ流量調整装置(例)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2 クリンカ流量調整装置(例)</p> </div> </div> <p>【留意事項】</p> <p>1) クリンカによる摩耗作用が激しいので、耐摩耗対策が必要となる。</p> |      |        |
| 導入効果  | <p>1) 電力原単位 2～3 kWh/t 低減</p> <p>2) ライナーおよび中仕切り目板の寿命延長。</p> <p>3) ボール割れによる粗砕能力低下の防止</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |        |
| 概算費用  | 20百万円程度(1000kW、φ3m級ミル)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |

| 項 目   | 粉砕媒体の適正化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程 | 導入時期 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 仕上工程 |      |
| 背景と目的 | <p>仕上チューブミルの電力原単位を最少にするために、従来からボールの寸法・配合および充填率の最適化が図られているが、近年は分級ライナーや予備粉砕機の採用に応じてボールの小径化が進んできた。</p> <p>また、ボールや裏板等の粉砕媒体は、材質（耐摩耗性）の向上による延命化が図られている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |      |
| 技術の内容 | <p>1) 最適ボール寸法および配合</p> <p>最適なボールサイズとボール配合については、古くから Starke、Bond、Paulsen、Bomblédらによって様々な計算式が提案されており、従来からこれらの式や経験則に基づいて配合が決定されてきた。</p> <p>近年は分級ライナーや予備粉砕機の採用によって、ボール寸法の小径化が進んでいる（セメント協会 1979 年調査では最小ボール寸法が 17mm であるチューブミルは約 10%であったものが、1991 年調査では 80%にまで増加）。</p> <p>2) 粉砕媒体の充填率はミルの粉砕能力およびミルの使用電力に大きく影響を与えるものであるが、その最適値はセメント粉砕においては 30%を中心として 20～40%の範囲にある。</p> <p>適切な粉砕媒体の充填率を保持し、粉砕効率をあげるためには、粉砕媒体の摩耗に対して適度の補充をしなければならない。</p> <p>媒体補充の時期を決定する方法は、次の 5 要素に分類することができるが、実際にはこれらを単独あるいは併用して決定している。</p> <p>(1) 負荷電力<br/>(2) 空尺測定<br/>(3) 運転時間<br/>(4) 粉砕トン数<br/>(5) その他（主として粉砕能率）</p> <p>また補充量を決定する要素は、次の 3 要素に分類できる。</p> <p>(1) 空尺測定（ボールセンター計測）<br/>(2) 負荷電力<br/>(3) その他</p> <p>これらの要素を単独または併用して決定要素としている。</p> <p>3) 粉砕媒体の材質（耐摩耗性）の向上</p> <p>従来、裏板は高 Mn 鑄鋼、ボールは炭素鋼が多かったが、近年は製造技術の進歩により裏板、ボールとも高 Cr 鑄鉄製のものが増加している。</p> |      |      |
| 導入効果  | 仕上チューブミルにおいて最適な運転状態が得られる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |      |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |      |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |      |
| 参考資料  | セメント製造技術専門委員会報告 T-19 p83 (1991)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |      |

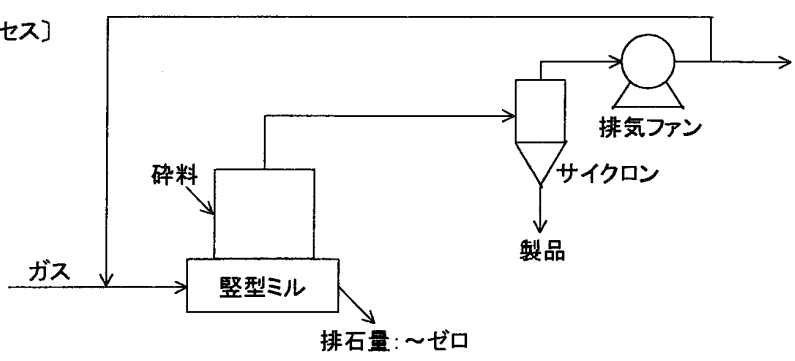
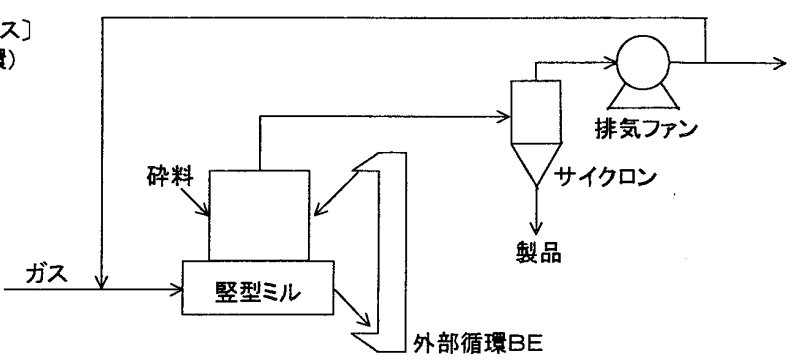
| 項 目   | セパレーターの改善                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 仕上工程 | 1970 年代 |
| 背景と目的 | 従来のスターデバントセパレーターのようなファン内蔵型セパレーターは、分級効率の低さがネックとなり、スケールアップによる粉砕量増加が難しいため、新しいセパレーターの開発が進められた。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |         |
| 技術の内容 | <p>セパレーターは機構の違いから、第1世代（ファン内蔵型）、第2世代（サイクロンエアセパレーター）、第3世代（ロータータイプセパレーター）の3つに区分できる。</p> <p>1) 構造</p> <p>(1) サイクロンエアセパレーターは分級部と精粉捕集用サイクロンから成り、エアーは外部に設けられたファンにより循環する。分級部はエアーベーンと回転するブレードから成る。</p> <p>(2) ロータータイプセパレーターはガイドベーンと回転するローターから成る渦流型の空気分級機で、外部に設けられたバグフィルターおよびサイクロンで精粉を捕集する。</p> <p>2) 特徴</p> <p>(1) 第2、3世代は第1世代に比べて微粉の循環量が少なく分級効率が高い。そのため、粉砕量の増加や電力原単位の低減が可能である。第3世代は第2世代に比べて、小容量から大容量にわたり高い分級性能を持つため、セメント品質を一定に保ったままで、より大きな効果が得られ、しかもコンパクトである。</p> <p>(2) 第2、3世代はセパレーター中心で回転するブレードやローターの回転速度、または分級風量を変更することで、粉末度の調整が運転中に容易にでき、その調整範囲も広い。第3世代は第2世代に比べ、回転数変更のみでより広い範囲において分級点のコントロールが出来る。</p> <p>(3) 第2、3世代はセパレーター内に多くの冷気を導入するために製品温度が低下し、セメントの偽凝結（石膏の脱水による凝結時間の短縮）が起こりにくい。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
|       |   <p>① separation chamber<br/>② tailings cone<br/>③ air vanes<br/>④ distributor plate<br/>⑤ counterblades<br/>⑥ feed spout<br/>⑦ gearbox<br/>⑧ motor<br/>⑨ fines outlet<br/>⑩ tailings outlet<br/>⑪ cyclones<br/>⑫ air duct to fan<br/>⑬ fan<br/>⑭ dust collecting pipe to filter<br/>⑮ return air duct</p> <p>図1 サイクロンエアセパレーター</p>   <p>① separator part<br/>② optional duct ext. to fit layout<br/>③ desagglomerator<br/>④ grit separator<br/>⑤ fines outlet<br/>⑥ bearing housing<br/>⑦ shaft rotor joint<br/>⑧ guide vane<br/>⑨ rotor blade<br/>⑩ reject cone<br/>⑪ support<br/>⑫ reject outlet valve<br/>⑬ feed inlet<br/>⑭ densit wearcast 2000<br/>⑮ air lock<br/>⑯ spreader plate<br/>⑰ feed from press<br/>⑱ air by-pass<br/>⑲ desagglomerator rotor<br/>⑳ guide vane sections<br/>㉑ outlet to press<br/>㉒ air inlet<br/>㉓ rotor blades</p> <p>図2 ロータータイプセパレーター(例)</p>   <p>① separator part<br/>② optional duct ext. to fit layout<br/>③ desagglomerator<br/>④ grit separator<br/>⑤ fines outlet<br/>⑥ bearing housing<br/>⑦ shaft rotor joint<br/>⑧ guide vane<br/>⑨ rotor blade<br/>⑩ reject cone<br/>⑪ support<br/>⑫ reject outlet valve<br/>⑬ feed inlet<br/>⑭ densit wearcast 2000<br/>⑮ air lock<br/>⑯ spreader plate<br/>⑰ feed from press<br/>⑱ air by-pass<br/>⑲ desagglomerator rotor<br/>⑳ guide vane sections<br/>㉑ outlet to press<br/>㉒ air inlet<br/>㉓ rotor blades</p> <p>図3 ロータータイプセパレーター(例)</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>1) 粉砕能力 15%～25%増加</p> <p>2) 電力原単位 10%～20%低減</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 概算費用  | 1.5億円(3000kWミル)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |

| 項 目   | ロールプレス型予備粉碎設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 適用工程 | 導入時期          |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 仕上工程 | 1980 年代<br>中頃 |
| 背景と目的 | <p>仕上工程の電力原単位低減あるいは粉碎能力増強を目的として、チューブミル粉碎の前段にロールプレス型の予備粉碎機を設置して、クリンカーを予備粉碎するシステムで、1980 年代中頃から導入され始めた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |               |
| 技術の内容 | <p>1) システムおよび構造<br/> 仕上粉碎チューブミルの前段にロールプレス型の予備粉碎機を設置して、クリンカーを予備粉碎することにより、仕上ミルの粉碎能力を増大させるシステムである。<br/> 予備粉碎機は 2 本の回転ロール（位置固定ロールと可変ロール）の間を通過する碎料に高圧力をかけて圧縮粉碎する機構になっている（図 1）。加圧機構は油圧システム。ロールの稼動面には耐摩耗部材が取り付けられている。<br/> クリンカー予備粉碎には各種のシステムがあるが、その中で代表的なものを図 2 に示す。</p> <p>2) 運転および保全<br/> (1) 加圧力はロール投影面積基準で 50~100 バール。<br/> (2) ロールの稼動面に取り付けられている耐摩耗部材は一体型と分割型とがあるが、いずれも運転により摩耗した場合には取替えるか、または硬化肉盛り補修を行なう。</p> <p>【留意事項】<br/> 1) ロールが摩耗すると碎料に均一な圧力が加わらなくなり、予備粉碎効果が著しく低下するので、こまめな肉盛り補修や取替えを要する。<br/> 2) 仕上ミル系電力原単位の低減効果を上げるためには、後段のチューブミルにおけるボールの小径化等の変更が必要。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>図1 構造図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2 フローシート</p> </div> </div> |      |               |
| 導入効果  | <p>1) 仕上粉碎チューブミルの能力 約 30%増加<br/> 2) 仕上工程の電力原単位 約 10%低減</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |               |
| 概算費用  | <p>粉碎能力 100t/h 程度の規模で、付帯設備および工事費込みで約 2 億円。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |               |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |               |
| 参考資料  | <p>第 45 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p9 (1988)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |               |

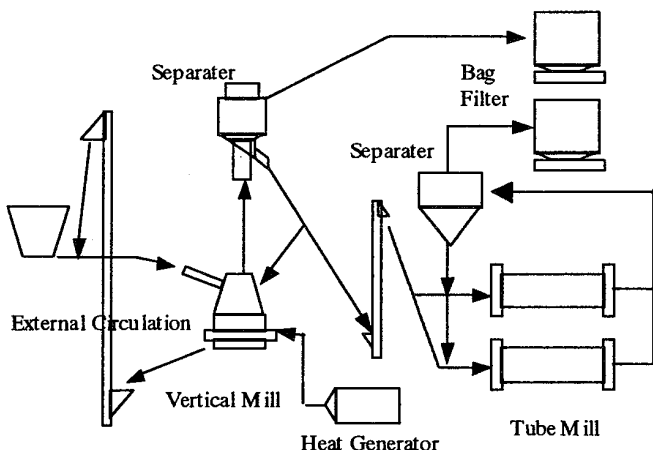
| 項 目   | ローラーミル型予備粉砕設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 仕上工程 | 1980年代後半 |
| 背景と目的 | <p>仕上工程の電力原単位低減を目的として、チューブミル粉砕の前段にローラーミル型の予備粉砕機を設置して、クリンカーを予備粉砕するシステム。予備粉砕機としてはロールプレスが先行したが、ロールプレスは高圧で運転するが故に機械的なトラブル（ロール表面の剥離やクラック、ロールシャフトやベアリングの損傷等）も多かったため、豊富な運転実績があるローラーミルをベースにした予備粉砕機が開発され、1980年代後半から導入され始めた。2000年における導入率は13%。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |          |
| 技術の内容 | <p>仕上粉砕チューブミルの前段に粉砕効率の良いローラーミル型の予備粉砕機を設置して、クリンカーを予備粉砕するシステム。予備粉砕機は回転テーブルと油圧によりテーブルに押し付けられている2~4個のローラーとの間で圧縮力とせん断力により砕料を粉砕する構造になっている。基本構造は原料や仕上粉砕用のローラーミルと同じであるが分級機部分とエアスウェプト機構がない。予備粉砕されてミル外部に排出されたクリンカーは、一部予備粉砕機に循環されるが、循環システムには次の二通りがある。すなわち、輸送機（BE）出口で単に分割した後、一部循環するシステムと、輸送機出口にて篩等で粗粒と微粒に分級した後、粗粒のみを予備粉砕機に循環するシステムである。</p> <p>構造図を図1、系統図を図2に示す。</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) 仕上ミル系電力原単位の低減効果を上げるためには、後段のチューブミルにおけるボールの小径化等の変更が必要。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;">   </div> <p style="text-align: center;">図1 構造図</p> <p style="text-align: center;">図2 系統図</p> |      |          |
| 導入効果  | <p>1) 仕上粉砕ボールミルの能力 30~60%増加<br/>2) 仕上工程の電力原単位 10~20%低減</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |          |
| 概算費用  | <p>粉砕能力 100t/h 程度の規模で、付帯設備および工事費込みで5~10億円。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |          |
| 関連事項  | <p>1) 原料予備粉砕装置の導入</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |          |
| 参考資料  | <p>1) 第46回セメント製造技術シンポジウム報告集 p.21 (1989)<br/>2) 第44回セメント製造技術シンポジウム報告集 p.56 (1987)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |          |

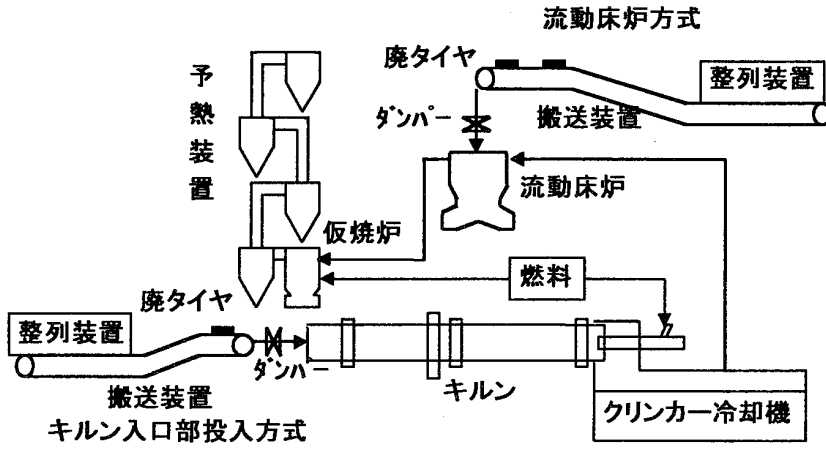
| 項 目   | チューブミルの自動運転制御                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程  | 導入時期 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 原料、仕上 |      |
| 背景と目的 | <p>チューブミルの運転では、消費動力の内実際に有効利用されているエネルギーは数％であり、大部分は熱や音として放散されている。従って、このミル本体の粉碎効率をあげることが、電力原単位を低減するうえで非常に重要であり、そのためにはミル内の粉碎媒体と被粉碎材料の充填率を最適に保つ必要がある。その制御方法として従来からミル出口粉バケットエレベーターの電力一定制御が用いられてきたが、この制御方法はミル詰りの時に逆動作を行なう欠点があった。そこでこの欠点を補うものとしてミル音響制御やミル振動制御が採用されてきた。また最近では、ファジー制御が開発、実用化されている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |      |
| 技術の内容 | <p>ミル内充填率を一定に保つための自動制御としては次のようなものがある。</p> <p>1) ミル出口粉バケットエレベーター電力（または電流）制御<br/>ミル出口粉のエレベーターの電力を検出し、この値が目標値になるようにミル供給量を調節するもので、最も早くから一般化した方法である。この制御ではミル内目板のスリット詰りが進行した時、エレベーター電力が減少となり、供給量増加という逆動作を行なう欠点がある。この場合、スリット詰りはミル通風空気流量により監視しなければならない。2000 年時点で我国の仕上チューブミルの約 7 割に採用されている。</p> <p>2) ミル音響制御<br/>ミル内の被粉碎材料の充填率の変化によってミル内で発生する粉碎音が変わることを利用するもので、1 室の粉碎音をマイクロフォンで集音し、その音響の高低によって供給量を制御するものである。ただし、複数のミルが隣接して同時運転している時の粉碎音の検出に難点がある。我国における採用率は約 1 割。</p> <p>3) ミル振動制御<br/>ミル内の被粉碎材料の充填率の変化によってミル大メタルの振動が変化することを利用するもの。同時運転している隣接ミルの影響を比較的受け難い。我国での採用率は 1 割弱であるが、当専門委員会の調査結果では制御性能についての運転者サイドの満足度は最も高い。</p> <p>また、ミル内の充填率を最適化するための自動制御としてはファジー制御がある。</p> <p>4) ファジー制御<br/>ファジー制御はミル音響レベルやエレベーター電力、ミル差圧その他複数のプロセスデータをもとに、予め設定したルールからコンピューターを用いてミルの粉碎条件の変化をファジー推論し、ミル内充填率の目標値を自動的に最適化することにより粉碎効率を向上させる方式。ルールの設定に経験やノウハウが必要だが、一旦適正にルールが決められれば、効率的な運転ができる。2000 年時点での我国における採用率は 1 割弱。</p> |       |      |
| 導入効果  | <p>1) 電力原単位は約 2~10%低減。<br/>2) 運転操作に要する労力が軽減できる。<br/>3) 運転状態が安定するため品質が安定する。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |      |
| 概算費用  | 制御機器一式数百万円程度。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |      |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |      |
| 参考資料  | 第 46 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p48 (1989)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |      |

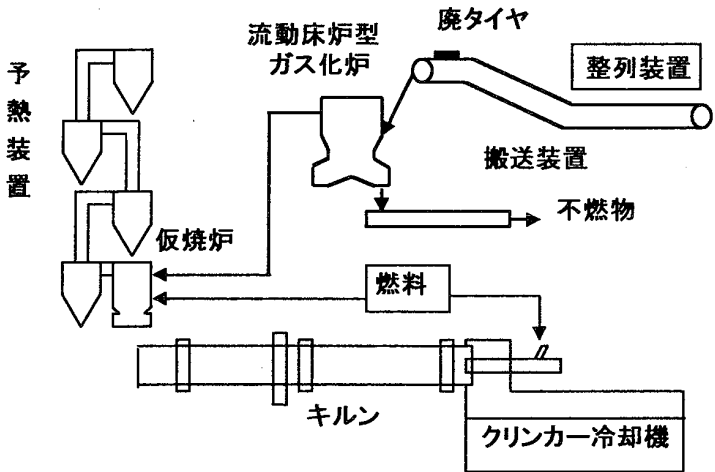
| 項 目   | 堅型仕上ミルの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 仕上工程 | 1980 年頃 |
| 背景と目的 | <p>仕上工程ではチューブミルによる粉砕が主流であるが、堅型ミルの粉砕エネルギー効率の高さを活かした省エネルギータイプの堅型仕上ミルが開発され、1980 年頃から普及し始めた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 技術の内容 | <p>堅型仕上ミルの基本構造は原料・石炭粉砕用の堅型ローラーミルと同様であり、回転するテーブルの上面に 2～4 個のローラーを油圧で押さえつけ、テーブルとローラーに供給された碎料を圧縮力とせん断力によって粉砕する機構となっている。粉砕機構の上方には内蔵型の分級機が設置されており、テーブルの下方から供給される空気によって碎製品が巻き上げられて分級機を通過し、粗粒はテーブル上に戻り精粉はサイクロンやバグフィルターによって回収される。</p> <p>堅型仕上ミルのチューブミルに対する利点は次の通り。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 碎料の粉砕効率が高いので電力原単位が低い。</li> <li>2) 碎料のミル内滞留時間が短いので、制御の応答性に優れ、品質管理が容易である。</li> <li>3) 粉砕に伴って発生する熱が少ないので、セメント温度の過度の上昇による品質トラブルが発生しにくい。</li> <li>4) 設備の据付面積がチューブミル対比で半減する。</li> </ol> <p>しかし、国内では既設チューブミルを活用できる予備粉砕システムの導入が優勢であり、海外での普及が先行している。</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 粉砕の機構上、クリンカーの性状変化に比較的敏感であるため、頻繁な性状変化が予測される場合には不安定な運転になりやすいので注意が必要。</li> <li>2) テーブル・ローラーの摩耗による効率低下が発生するので、定期的な補修（硬化肉盛り、交換）が必要。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | 電力原単位 30%低減（チューブミル対比）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 関連事項  | 堅型仕上ミル外部循環方式の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |

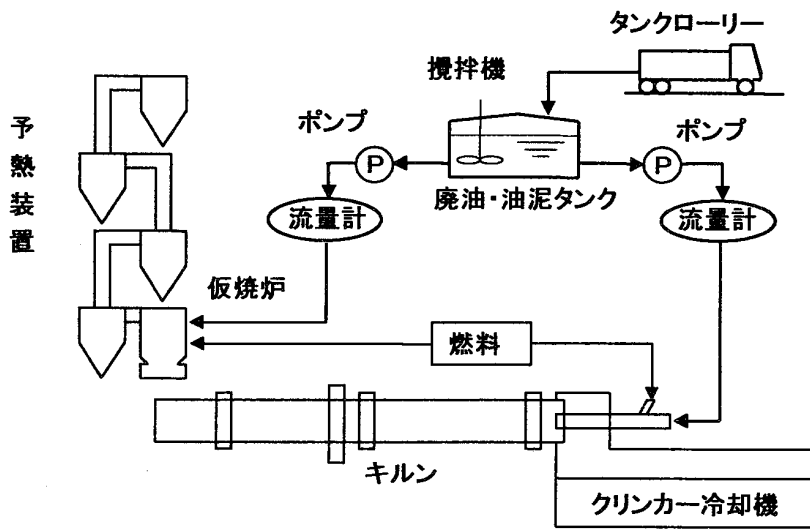
| 項 目   | 堅型仕上ミル外部循環方式の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 仕上工程 | 1980 年頃 |
| 背景と目的 | <p>仕上工程では、従来のチューブミルによる粉碎に代わって、粉碎エネルギー効率が高い堅型ミルが導入されているが、更なる省電力を目的として、外部循環方式のものが採用されている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 技術の内容 | <p>外部循環方式とは、ミル内のテーブル上を通過した碎料の幾らかをテーブルより溢流させ、機械式の輸送機でミル入口に戻すことにより、ミル内部での循環量を少なくしたシステム。</p> <p>従来のローラーミルシステムでは、碎料のテーブルからの溢流（排石）を防ぐためにテーブル外周部から高速のガスを導入しなければならず、このためミル排気ファンの消費電力がミル系全体の約 60% を占めていた。これに対して外部循環方式では、排石は機械式の輸送機でミル入口に戻されるためミルテーブル外周部からのガス導入量は少なくてよく（従来型の約 70%）、圧損も少なくなり（同 約 70%）、ミル排気ファンの消費電力が大幅に低減できる（同 約 50%）。</p> <p>外部循環率（外部循環量／ニューフィード量）は 50～100% で運転される。</p> <div style="text-align: center;"> <p>〔従来プロセス〕</p>  <p>〔新プロセス〕<br/>（外部循環）</p>  </div> |      |         |
| 導入効果  | 電力原単位が約 10% 低減できる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 概算費用  | 粉碎能力 100t/h 程度の規模で、付帯設備および工事費込みで約 50 百万円。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 関連事項  | 原料堅型ミル外部循環方式の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |

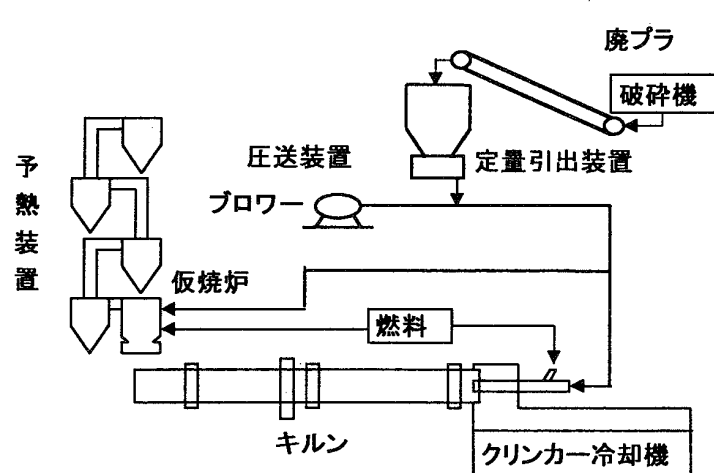
| 項 目   | セメント粒度自動制御                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 仕上工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>最終製品であるセメントの粒度管理は、安定した品質と効率的な運転の維持のために重要である。しかし、実際の仕上ミルの運転においては、多くの要因の影響によってセメント粒度が経時的に変動することから、セパレーターの調整を自動的に行う技術が開発・導入された。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 技術の内容 | <p>仕上粉碎における精粉（製品）の粒度は、運転条件が一定であっても、様々な要因の影響を受けて、時々刻々と変化する。<br/>これらの要因には次のようなものがある。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) クリンカーの被粉碎性</li> <li>2) クリンカーの粒度・温度</li> <li>3) 石膏・混合剤の種類と添加率</li> </ol> <p>これらの内、主な要因であるクリンカー性状の変化は、原料事情および設備事情からある程度やむを得ない面があり、この影響を吸収して粒度を安定化させる手段が望まれていた。</p> <p>また、仕上粉碎は断続運転となる場合が多く、ミル起動時の精粉粒度の早期正常化も安定品質維持と運転効率化のための課題であった。</p> <p>精粉を自動サンプリングし、レーザー回折式粒度分布測定装置で自動測定し、測定値が目標値と一致するようにセパレーターのブレードあるいはローターの回転数を自動調整する。</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 粒度分布測定装置のメンテナンスに注意を払う必要がある。</li> <li>2) 制御のアクション幅に制限を設けることも必要である。</li> </ol> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) セメント品質（粒度）の安定</li> <li>2) 電力原単位の低減 3%～5%</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 概算費用  | 40 百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |
| 参考資料  | 第50回セメントシンポジウム報告集 p52 (1993)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |

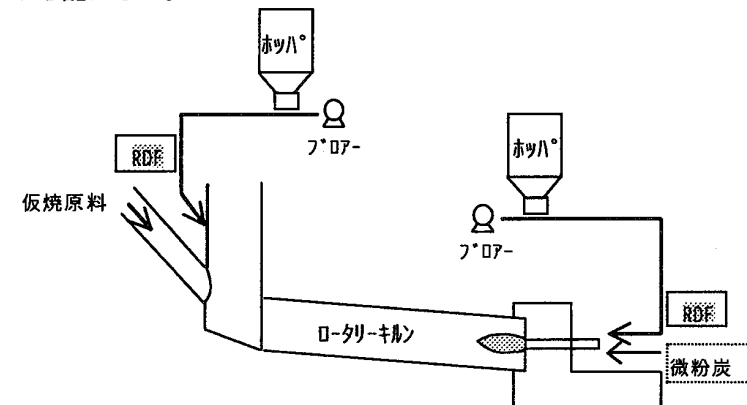
| 項 目   | スラグ粉碎の高効率化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 仕上工程 | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>スラグ粉碎は、従来、乾燥機を付設したチューブミルで行われていたが、微粉碎が必要なために電力原単位が高く、この低減が課題であった。</p> <p>セメント分野での実績を背景に、スラグ粉碎の効率改善技術が開発・確立された。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |
| 技術の内容 | <p>高炉セメント用スラグ微粉末の製造を目的とするスラグ粉碎の効率改善には、セメント分野で確立された予備粉碎や堅型ミルの粉碎技術が応用された。</p> <p>1) 堅型ミルの導入<br/> 堅型ミルで同時乾燥・粉碎を行う。乾燥熱源には熱風発生炉等が使用される。スラグには鉄粒が含まれ、これらがテーブル上に滞留すると粉碎効率悪化や機械的トラブルを引き起こす。このため外部循環機構を組み込んで磁選機で除去するなどの粒鉄対策が必要である。</p> <p>2) 予備粉碎技術の導入<br/> 既設チューブミルの上流に堅型ミルを増設し、これらの組合せにより粉碎能力の増強と電力原単位低減を実施した例がある。この場合、堅型ミル運転条件の調整によって、予備粉碎機と仕上げ粉碎機としての機能を使いわけることになる。予備粉碎機としてだけ使用するのであれば、チューブミルのボール小径化によって粉碎効率の一層の向上が期待できるが、その効果は多少減殺されていると思われる。</p>  <p style="text-align: center;">チューブミルと堅型ミルの組合せの例</p> <p>【留意事項】<br/> テーブルやローラーの摩耗は激しい。摩耗が進行すると粉碎能力・粉碎効率が著しく低下するので、適切な間隔で修繕を実施する必要がある。</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>電力原単位の低減 (ﾌﾟﾚｰﾝ値 4,000 cm<sup>2</sup>/g)</p> <p>チューブミル方式 70 kWh/t 程度 (乾燥機含まず)</p> <p>堅型ミル方式 40 kWh/t 未満 (セパレーター、風車、輸送機等を含む)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 概算費用  | <p>堅型ミル 5 億円程度 (補機・工事費込)</p> <p>(テーブル径 2,400 mm、定格動力 1,200 kW、ﾌﾟﾚｰﾝ値 4,000 cm<sup>2</sup>/g、40 t/h)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |         |
| 関連事項  | <p>堅型原料ミルの導入、堅型仕上ミルの導入、堅型石炭ミルの導入</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |         |
| 参考資料  | <p>第 48 回セメント製造技術シンポジウム p36 (1991)</p> <p>第 51 回セメント製造技術シンポジウム p70 (1994)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |

| 項 目   | 廃タイヤ自動投入設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 適用工程    | 導入時期    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 廃棄物他の活用 | 1980 年頃 |
| 背景と目的 | <p>かつて廃タイヤは、タイヤメーカーでの再生利用や燃料としての有効利用だけでは処理が追いつかず、不法投棄などの社会問題を引起こしていた。セメント業界はいち早くこの問題に取り組み、'80 年頃から廃タイヤを代替燃料として使用してきた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |         |
| 技術の内容 | <p>1) 自家用車、トラック、バス等の使用済みタイヤをそのままの状態、或いは カットしてキルン入口部(窯尻)に投入し、クリンカー焼成の熱源として利用する。</p> <p>2) タイヤ投入設備は、タイヤを自動的に整列する整列装置と整列したタイヤをキルン入口部まで輸送する搬送装置から成り、投入量は一定の時間間隔で決められた本数を投入する方式が一般的である。</p> <p>3) また、仮焼炉用 2 次空気(クリンカークーラーの回収空気)の昇温を目的として抽気ダクトの中間に流動床炉を設置し、廃タイヤを処理している例もある。</p> <p>図 1 に キルン入口部投入方式、流動床炉方式の廃タイヤ処理フローの例を示す。</p>  <p>図 1 廃タイヤ処理フロー例</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) タイヤ投入部からのリーク防止のためにシールダンパーを設置するが、熱によるシールの劣化に注意が必要である。</li> <li>2) タイヤ内側に入りこんだ雨水は熱効率を低下させるので、除去の工夫が必要である。</li> <li>3) 廃タイヤに含まれるワイヤーは通常キルン内で酸化するが、原料成分安定の為に廃タイヤの定量使用が重要である。</li> <li>4) タイヤに使用されている添加物の影響やキルン入口部での熱負荷の上昇などにより、レンガの寿命が短くなったり異常コーティングが発達してキルンの安定操業を阻害したりする場合があります、注意が必要である。</li> </ol> |         |         |
| 導入効果  | 廃タイヤの有効発熱量は 約 25~29MJ/kg(6,000~7,000kcal/kg)であり、その使用量分の有効熱量に見合う化石燃料の削減が可能である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |         |         |
| 概算費用  | 使用量 10 千 t/年 程度の規模で、約 2 億円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |         |
| 関連事項  | 廃タイヤガス化処理設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |         |
| 参考資料  | <p>第 49 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p86 (1992)</p> <p>第 50 回セメント製造技術シンポジウム報告集 p78 (1993)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |         |

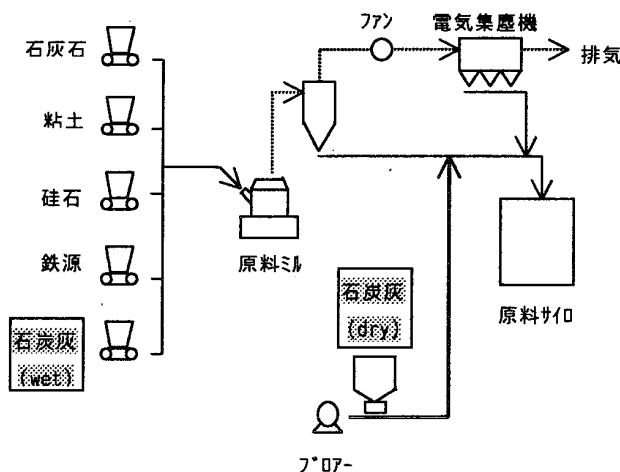
| 項 目   | 廃タイヤガス化処理設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 適用工程    | 導入時期   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 廃棄物他の活用 | 1985 年 |
| 背景と目的 | <p>かつて廃タイヤは、タイヤメーカーでの再生利用や燃料としての有効活用だけでは処理が追いつかず、不法投棄などの社会問題を引起こしていた。</p> <p>セメント業界はいち早くこの問題に取り組み、'80 年頃から廃タイヤを代替燃料として使用してきた。</p> <p>しかし 従来からの廃タイヤをそのままキルン内に投入して処理する方法には、キルンのサイズによっては量的な限界があることから、処理能力の拡大と燃焼熱利用率の改善を目的としてガス化処理技術が開発された。</p>                                                                                                                                                                                                            |         |        |
| 技術の内容 | <p>1) 自家用車、トラック、バス等の使用済みタイヤをそのままの状態 或いは カットしてガス化炉に投入し、還元雰囲気で加熱し熱分解によって発生した熱分解ガスを仮焼炉に導入し、代替燃料として有効利用するものである。</p> <p>2) スチール等の不燃物は ガス化炉から排出され 系外へ取り除かれるので、多量のスチール混入による成分不均一の問題は発生しない。</p> <p>3) ガス化炉は 流動床型、キルン型など 数種が考案されている。</p> <p>図 1 に 流動床炉型ガス化炉による廃タイヤガス化処理フローの例を示す。</p>  <p>図 1 廃タイヤガス化処理フロー例</p> <p>【留意事項】<br/>熱分解ガスにはタール分が含まれ、ダクト壁に沈着する。何らかのタール対策が必要である。</p> |         |        |
| 導入効果  | 廃タイヤの有効発熱量 約 25~29MJ/kg(6,000~7,000kcal/kg)であり、その使用量分の熱量に見合う化石燃料の削減が可能である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |        |
| 概算費用  | 使用量 約 7 千 t/年 程度の規模で、約 1 億円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |        |
| 関連事項  | 廃タイヤ自動投入設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |        |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |        |

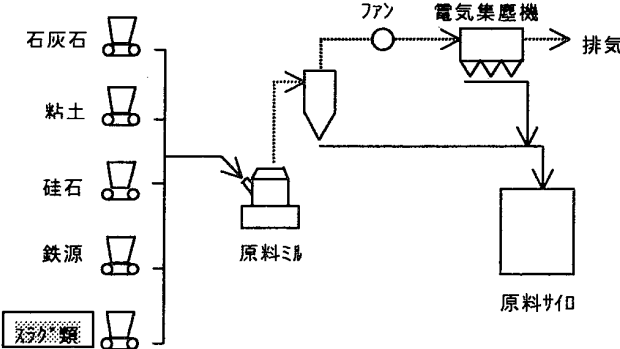
| 項 目   | 廃油、油泥投入設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 適用工程    | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 廃棄物他の活用 | 1985 年頃 |
| 背景と目的 | <p>廃油・油泥はドラム缶に入れて放置されたり、焼却処分されたりしていたが、将来的に 化石燃料の枯渇が予想されることから、 省エネルギーの一環として '85 年頃から廃油・油泥の使用技術が開発・導入された。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |         |
| 技術の内容 | <p>1) ドラム缶 或いは タンクローリー車で持ち込まれた廃油・油泥は 専用のタンクに貯蔵され、ポンプによりキルン または 仮焼炉に投入し、クリンカー焼成の熱源として有効利用する。</p> <p>2) 廃油・油泥輸送用の配管には流量計を設置し、所定の流量となるようポンプの回転数などにより遠隔で 調整可能な設備としている。</p> <p>図 1 に 仮焼炉 または キルンでの廃油・油泥処理フローの例を示す。</p>  <p>図 1 廃油・油泥処理フロー例</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 廃油・油泥中には異物の混入が多く、受入時のストレーナー掃除ばかりでなく配管の詰りや バーナーチップの詰りに注意をはらう必要がある。</li> <li>2) タンク内では時間経過とともに油水分離し発熱量の変動に伴う炉内の温度が変化することがある。発熱量を均一にする為に攪拌機の設置が望ましい。</li> <li>3) 銘柄の異なる廃油・油泥の混合は 化学反応を起こす恐れがある為、事前の確認や別個に保管するなどの対策が必要である。</li> <li>4) 廃油・油泥には塩素が数千 ppm のオーダーで含まれており、サイクロン詰りなどのトラブルへの影響やセメントの品質に注意する必要がある。</li> </ol> |         |         |
| 導入効果  | <p>廃油・油泥は 品質のパラツキはかなり大きい が 約 10MJ/kg (数千 kcal/kg) の発熱量を持っており、その使用量分の有効熱量に見合う化石燃料の削減が可能である。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |         |         |
| 概算費用  | <p>10 千 kL/年程度の 貯蔵・使用設備で 約 50 百万円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |         |

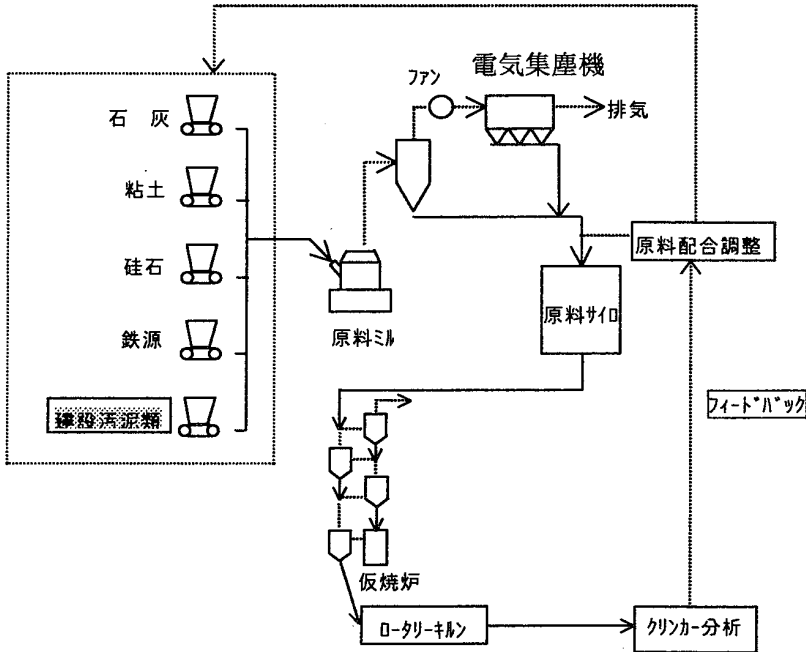
| 項 目   | 廃プラスチック処理設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 適用工程    | 導入時期    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 廃棄物他の活用 | 1980 年頃 |
| 背景と目的 | <p>従来、廃プラスチック（以下、廃プラ）は最終処分場に埋立処理されるのが一般的であった。しかし、最終処分場の確保が困難なことや 化石燃料枯渇が予想されることから、省資源・省エネルギーの一環として廃プラの使用技術の開発が進んでいる。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |         |
| 技術の内容 | <p>最近、開発・実用化されている廃プラ処理技術は、主燃料とほぼ同等の燃焼特性が得られるまで廃プラを破碎する方式が主流である。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 予め異物を除去し 10～20mm に破碎された廃プラを、キルンまたは仮焼炉に定量供給し、代替燃料として有効利用する。</li> <li>2) 定量引出装置は計量設備あるいは回転数などを遠隔で調整可能な設備とし、ルーツブローなどを利用した圧送装置で輸送するのが一般的である。</li> </ol> <p>図 1 に廃プラ処理フローの例を示す。</p>  <p>図 1 廃プラ処理フロー例</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 廃プラの形状には塊状・フィルム状など様々なものがあり、そのままの状態では主燃料と同等の燃焼状態を得ることはできない。このため破碎/粉碎して粒度を均一化するなどの処理が必要である。</li> <li>2) 廃プラは種類によって発熱量が大きく異なるので、均一に混ざっていないとキルン内または仮焼炉内の温度コントロールが困難となる。発熱量ランクごとの選別受入れや均一化などの対策が必要である。</li> <li>3) 塩ビなど 塩素を含有するものが混入すると、サイクロン詰りやセメント品質に大きな影響を与えるので、注意する必要がある。</li> </ol> |         |         |
| 導入効果  | <p>廃プラは種々のものがあり約 17～42MJ/kg(4,000～10,000kcal/kg)の発熱量を持っており、その使用量の有効熱量に見合う化石燃料の削減が可能である。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |         |
| 概算費用  | <p>使用量 10 千 t/年程度の規模で、破碎設備を含んで 約 4 億円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |         |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |         |

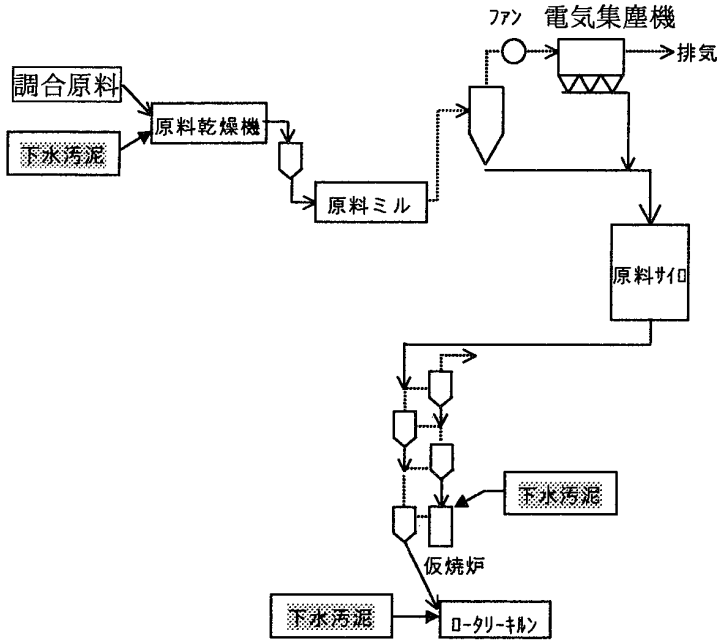
| 項 目   | RDF処理設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 廃棄物他 | 1990 年代 |
| 背景と目的 | <p>従来、ごみの処理は焼却・減容化して最終処分場に埋め立てが一般的であった。しかし、焼却炉からのダイオキシン類排出、最終処分場の確保等が問題となり、ごみの減量・再資源化が求められている。</p> <p>再資源化方法の一つとして、一般ごみ・産廃を固形化燃料(R D F ;Refuse Derived Fuel) 化して使用することが進められているが、R D Fを使用する設備に限られることや焼却灰の別途処理が必要になることから、灰をそのまま原料として使用できるセメント工場でのR D F処理が有効である。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 技術の内容 | <p>1) 自治体で分別収集された可燃ごみは、破碎・選別・乾燥を経て、直径 10～30mm、長さ 20～50mm に成形され、保存性、輸送性に優れたR D Fとなる。</p> <p>2) セメント工場に搬入されたR D Fは、空気輸送設備等を利用してキルン尻またはキルン口元に投入され、クリンカー焼成用熱として有効利用する。</p> <p>3) これにより有効熱量相当の化石燃料の節減が可能である。また、発生する焼却灰はそのまま原料の一部として取り込まれる為、灰の別途処理は不要である。</p> <p>4) また、セメントキルン内では高温域での滞留時間が長い為、ダイオキシン発生の心配はない。</p>  <p>【留意事項】</p> <p>1) R D Fには一般に塩素が数千 ppm 含まれており、使用量によってはプレヒータ一閉塞等のトラブルを引き起こす可能性があるため注意が必要である。</p> <p>2) 問題が生ずる可能性がある場合には、塩素バイパス設備設置等の対策が必要である。</p> |      |         |
| 導入効果  | <p>R D Fは 15,000～20,000kJ/kg (3,500～4,500kcal/kg) の発熱量を持っており、10t/dの使用で石炭 5t/d 程度の使用量削減が可能である。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |         |
| 概算費用  | <p>形式にもよるが、10t/dの受け入れ設備・投入設備一式で50百万円程度(但し、塩素バイパス設備を除く)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |
| 関連事項  | <p>サイクロン詰り防止技術</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |

| 項 目   | 廃パチンコ台の再資源化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 廃棄物他 | 1995 年 |
| 背景と目的 | <p>パチンコ台は年間約 220 万台が製造され、ほぼ同数の廃台が発生していると推定される。不法投棄や大量の野積みが社会問題化したこともあり、適正処理・再資源化技術の確立が望まれていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |
| 技術の内容 | <p>娯楽遊戯器具であるパチンコ台は電子部品・金属・プラスチック・木などから構成されており、単なる破碎のみで処理する再資源化では後工程でのハンドリングが難しいことから、一連の処理システムを構築して完全再資源化を行っている。</p> <p>システムは次のように構成されている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 液晶などの再利用可能な電子部品の回収とメーカーへの還流</li> <li>2) 鉄製部品の磁力選別・回収とスクラップとしての売却</li> <li>3) プラスチックと木材を主とした固形燃料の製造</li> <li>4) セメントキルンへの定量供給・処理</li> </ol> <p>固形燃料化は圧縮押出しによる減容機で行っており、摩擦熱でプラスチックが溶けて接着剤として作用し、成形・固化する機構となっている。</p> <p>固形燃料のサイズは直径 100 mm、長さ 150 mm（約 2 kg/個）程度。</p> <p>フローシート</p> <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 2次破碎で約 50 mm 以下にしているが、適切な破碎機の選定が重要である。</li> <li>2) サイロからの安定抽出方法には工夫が必要である。</li> </ol> |      |        |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 固形化燃料 15kg/台 発熱量 27 MJ/kg (6,500kcal/kg)</li> <li>2) 石炭燃料の代替</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |
| 概算費用  | 1) 40 万台/年（日勤のみ）処理規模で約 7 億円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |
| 参考資料  | 再資源化技術開発事例集（リサイクル事例集－その 2）：クリーンジャパンセンター                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |        |

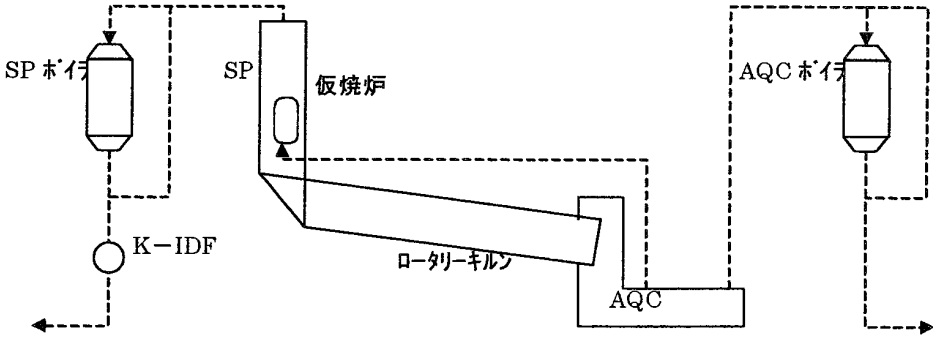
| 項 目   | 代替原料処理技術(石炭灰)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 廃棄物他 | 1970年代 |
| 背景と目的 | <p>微粉炭燃焼ボイラー等の集塵装置で回収される石炭灰は全国の火力発電所を中心に多量に排出されており、今後更に増加すると予想される。様々な処理方法の研究が精力的に進められているものの大量処理は困難であり、処分場の確保も難しい為セメント工場での一層の活用が求められている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |        |
| 技術の内容 | <p>1) 石炭灰は、シリカ(<math>\text{SiO}_2</math>)やアルミナ(<math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>)が主成分であり、天然のセメント原料の代替として使用されている。</p> <p>2) 石炭灰の性状に応じて、生原料調合段階又は原料粉碎後に系内に投入し、調合原料の一部とする。</p> <p>3) 未燃カーボン等を含む石炭灰の場合には、その燃焼熱をクリンカー焼成用熱として利用するため化石燃料の節減が可能であるが、多量に使用する場合には熱量バランスがくずれることもある。</p> <p>4) 石炭灰は既に多くのセメント工場で使用され、使用原単位は10~100kg/t-cl程度である。</p>  <p>【留意事項】</p> <p>1) 発熱量の高い石炭灰の使用量が多くなると、プレヒーターの温度が上昇してコーチングの付着が増加するなどの操業上の問題点が起こるので、注意が必要。</p> <p>2) 灰中のシリカ分が多く硬い石炭灰の場合には、輸送機等の摩耗対策が必要となることもある。</p> <p>3) 多様な石炭灰を多量に受け入れると、成分変動の影響が無視できない状況となる場合がある。受入・貯蔵設備や原料調合制御の適切化などのインフラ整備が重要である。</p> |      |        |
| 導入効果  | <p>1) 天然原料（主に粘土）の節減。</p> <p>2) 含未燃カーボン（数百~数千 kJ/kg）による化石燃料の節減。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |        |
| 概算費用  | 2000tサイロ及び投入設備一式で1億~1.5億円程度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |        |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |
| 参考資料  | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |        |

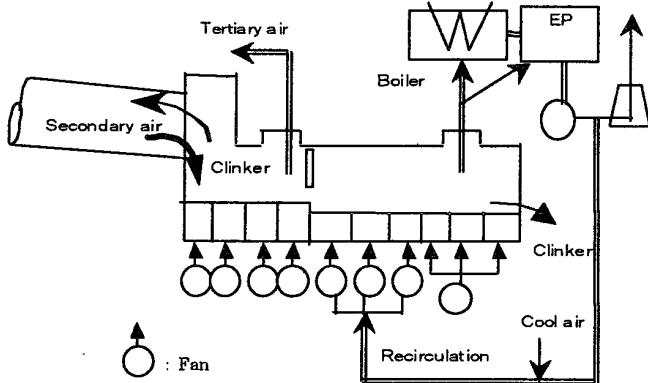
| 項 目   | 代替原料処理技術(スラグ類)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 廃棄物他 | 1970年代 |
| 背景と目的 | <p>鉄鋼及び非鉄金属の製造過程において、原料中の不純物と脱硫剤・脱不純物剤として添加する石灰石の反応物が溶融酸化物の形で排出される。これを冷却・破碎したものをスラグといい、全国で大量に排出される。主にセメント原料や道路建設材料として古くから使用されている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |        |
| 技術の内容 | <p>スラグの代表である高炉スラグは水硬性を有することから、微粉碎してセメントと混合し、高炉セメントとして広く使用されている。<br/>一方、品質的に劣る各種スラグなどはセメント用原料として使用されている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>鉄鋼製造過程の高炉スラグ・転炉スラグや非鉄金属製造時のスラグ類はセメント原料の代替品として使用される。</li> <li>原料のひとつとして生原料調合段階に使用し、最大使用量は 250kg/t-cl 程度である。</li> <li>スラグは CaO を 40～45%程度含有しているが、既に脱炭酸反応を経ているため石灰石の場合に要する分解熱が不要であり、使用量相当分の熱量原単位が低下する。</li> </ol>  <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>スラグ類は一般に硬い為、機器及び輸送機の摩耗対策を行う必要がある。</li> <li>スラグ類には MgO が 6～7%含まれる為、使用量が多くなるとセメントの色・強度・安定性等に問題が生じることがある。使用原単位には注意が必要である。</li> </ol> |      |        |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>スラグ類 10kg/t-cl 使用で熱量原単位約 17kJ/kg-cl (4kcal/kg-cl) の削減。</li> <li>発生 CO<sub>2</sub> 減に伴い、ファン電力量も若干の削減となる。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |        |
| 概算費用  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |        |
| 関連項目  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |        |
| 参考文献  | 社団法人 セメント協会 生産技術専門委員会報告 T-21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |        |

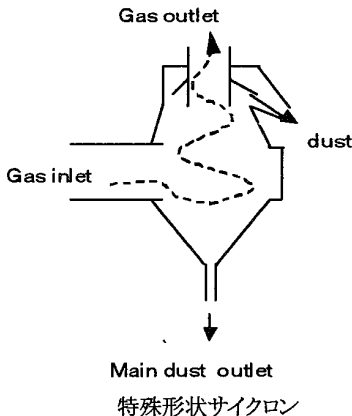
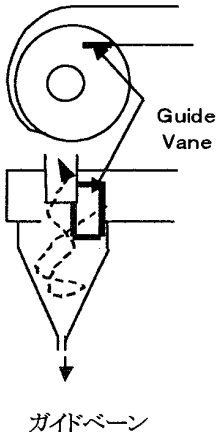
| 項 目   | 代替原料処理技術(汚泥類)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 廃棄物他 | 1990年代 |
| 背景と目的 | <p>建設汚泥類は全国で大量に発生し、埋め立てによって最終処分がなされていた。埋め立て地の減少に伴って不法投棄が増え処理場確保も困難であることから、有効利用技術が求められている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |
| 技術の内容 | <p>1) 水分をある程度以上含有するものは生原料調合段階に、水分が殆ど含まれないものは原料粉砕機前に供給し、セメント原料の代替として使用する。</p> <p>2) 建設汚泥類の性状及び成分は多種多様であり、そのままの使用が困難な場合は前処理を施す。</p> <p>3) 高含水物は、フィルタープレスや他の乾燥原料との混合等によりハンドリングの改善を行った後、使用される。</p>  <p>【留意事項】<br/>建設汚泥類は化学成分の変動が大きい為、新たに供給ラインを増設したり、調合原料又はクリンカのオンライン分析を行うなど、原料調合制御の精度の維持・改善が重要である。</p> |      |        |
| 導入効果  | <p>1) 天然原料の使用を削減。</p> <p>2) 最終処分場の延命。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |        |
| 概算費用  | <p>既存の設備を利用すれば費用の発生は抑えられるが、詰まり対策等に数百～数千万円程度要する。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |        |
| 関連項目  | <p>原料調合制御の自動化</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |        |
| 参考文献  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |

| 項 目   | 代替原料処理技術(下水汚泥)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 廃棄物他 | 1990年代 |
| 背景と目的 | <p>下水汚泥は全国の自治体で発生しているが、従来、埋め立て・海洋投棄により処分されているものが多かった。</p> <p>産業廃棄物の海上投棄が社会問題となっており、その有効利用が求められている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |        |
| 技術の内容 | <p>下水処理場より発生した汚泥は、脱水処理を行ったケーキ（水分約80％）の形かあるいは焼却処理後の灰の形で、セメント工場に持ち込まれる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 焼却灰は原料調合段階で混合処理し、代替原料として処理する。</li> <li>2) 脱水ケーキは、臭いとハンドリング性の問題から、圧送ポンプにより直接炉内（ロータリーキルン・仮焼炉）に投入する方法が採用されている。</li> <li>3) ケーキ中には可燃性有機物が含まれるが、水分が高いため熱量的には相殺され、原料代替相当として使用されている。</li> </ol>  <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 下水汚泥はセメントの製造・品質に悪影響を及ぼす化学成分（塩素、リン）を含んでいるため、原料調合制御の精度の維持・改善が要求される。</li> <li>2) 臭気問題があるため、輸送ラインを密閉式にする等の臭気対策が必要である。</li> <li>3) 脱水ケーキをキルン尻に投入すると、脱硝効果があると報告されている。</li> </ol> |      |        |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 天然原料の使用量削減。</li> <li>2) 最終処分場の延命。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |        |
| 概算費用  | 圧送ポンプで炉内に投入する設備で2～4億円程度要する。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |
| 関連項目  | 原料調合制御の自動化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |        |
| 参考文献  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |        |

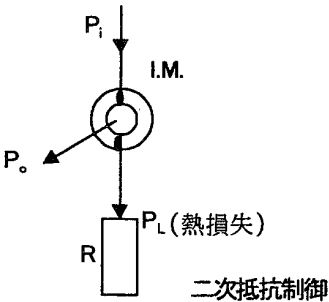
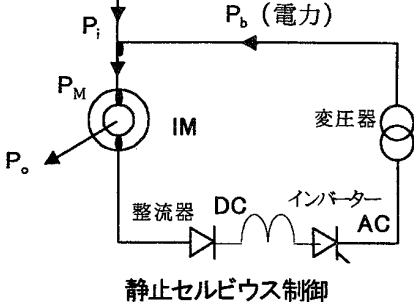
| 項 目   | 廃酸・廃アルカリ処理設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 廃棄物他 | 1990 年代 |
| 背景と目的 | <p>廃酸・廃アルカリの大量処理は、中和等の処置を施した後、海洋投棄されるのが一般的であったが、ロンドン条約により海洋投棄が禁止される為、安全で有効な処理方法が求められている。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |         |
| 技術の内容 | <p>1) プレヒーターから排出される燃焼排ガスは、乾燥等に有効利用された後、電気集塵機にて脱塵処理される。その際、集塵の条件を最適化するために、工業用水を散布して排ガスの調温・調湿を行っている。</p> <p>2) この工業用水の代わりに廃酸・廃アルカリ溶液を使用し、廃液の大部分を占める水分の蒸発処理を行う。</p> <p>3) 具体的な例としては、まとまった回収システムがあり収集・運搬が容易な焼酎廃液や写真現像処理回収廃液の処理が実用化されている。</p> <p>【留意事項】</p> <p>1) 廃酸・廃アルカリには低融点物質が含まれていることがあり、プレヒーター閉塞等のトラブルを引き起こす可能性がある為、塩素バイパス設備設置等の対策を要する。散水箇所の腐食対策も必要である。</p> <p>2) 使用量が多くなるとEPダストの電気抵抗値が上昇することがあるので、集塵状態への影響も考慮する必要がある。</p> |      |         |
| 導入効果  | 水資源の使用削減及び廃水処理に要するエネルギーの削減が可能である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 概算費用  | 受け入れ設備・散水設備等で数千万円程度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |         |
| 関連項目  | 塩素バイパスシステムの導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |         |
| 参考文献  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |

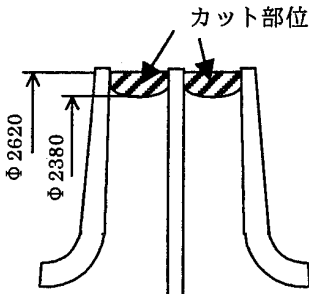
| 項 目   | 廃熱発電の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 廃熱回収 | 1990年代 |
| 背景と目的 | <p>SP・NSP方式のプレヒーター出口排ガス温度は約400℃となり、後工程で原料乾燥熱源として使用されるが、それでも余剰の熱量が発生する。また、クリンカークーラーからも250～350℃程度の余剰排気が発生する。</p> <p>これら中程度の熱の有効利用による熱効率の一層の向上が求められていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |        |
| 技術の内容 | <p>中程度の排ガス／排気による廃熱発電は、発電規模によって経済性が左右されるが、廃熱発電技術の進展と大型キルンの普及によってセメントキルンでの廃熱発電が経済的に成り立つ状況が整い、導入が進んだ。</p> <p>一般的な形態としては、プレヒーター出口ダクト及びクーラー排気出口ダクトのそれぞれに廃熱ボイラーを設置し、それぞれで発生した蒸気を混圧タービンに導入し、接続された発電機により発電が行われる。</p> <p>廃熱発電によって得られる電力はセメント製造工程で利用される。</p> <p>発電量の目安としては約35～40kWh/tであり、5000t/d規模のキルンで8000kWh程度の出力が期待できる。</p> <p>廃熱発電を導入した典型的なNSPキルンでは、原料乾燥に利用した後の排ガス温度は略100℃前後のレベルとなり、熱の有効利用の割合は80%を越える。</p>  <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 廃熱ボイラー導入にあたっては、乾燥熱量を低減して発電量を増加するために、原料水分の低減対策を実施することが望ましい。</li> <li>2) ボイラー内ではダストが回収されるので、水管への付着防止策やダスト処理対策に留意すべきである。</li> </ol> |      |        |
| 導入効果  | 約35～40 kWh/ tの電力を回収できる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |        |
| 概算費用  | 廃熱発電設備一式で約20億円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |        |
| 関連事項  | クーラー排気の再循環利用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |        |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |        |

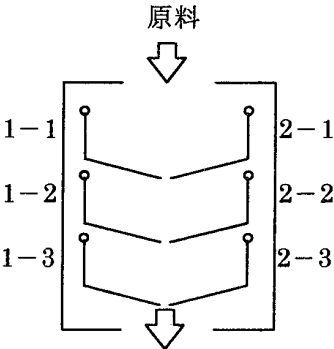
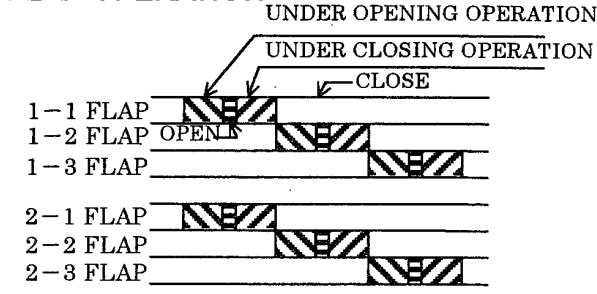
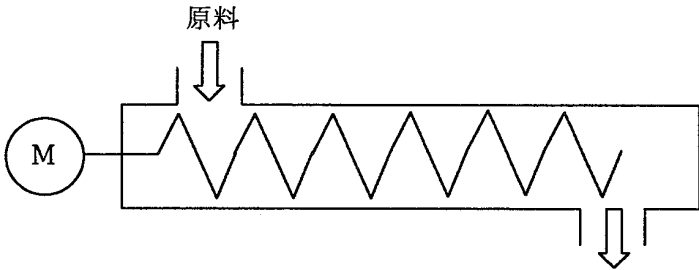
| 項 目   | クーラー排気の再循環使用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程 | 導入時期   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 廃熱回収 | 1980年代 |
| 背景と目的 | <p>クリンカークーラーからは200～300℃程度の排気（空気）が発生し、従来はそのまま大気に放出されていた。この排気の保有熱の有効利用対策が廃熱ボイラーの設置であるが、さらに徹底した省エネルギーの方策が求められていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |        |
| 技術の内容 | <p>クーラーに関しては燃焼用2次空気への熱回収効率の向上が最も重要であるが、キルン系全体として見ると、熱の価値としてはあまり高くない余剰熱量を徹底して有効活用することも重要なことである。</p> <p>クーラー排気再循環は、一旦クーラーの外に排出され電気集塵機またはバグフィルターで除塵された低温空気を再びクリンカーの冷却用空気として使用し、保有熱を有効利用することによって系外への排出熱量を最少化する技術である。</p> <p>(a)クーラーに廃熱ボイラーが設置されている場合には、ボイラーでの熱回収増加を目的に、ボイラー出口の約100℃前後の排気をクーラーの後段部用の風車に再導入し、熱価の高いクーラー排気を得てボイラーでの回収効率を高める。</p> <p>(b)グレート式クーラーでは、低温排気をクーラー前段部用の風車に再導入し、燃焼用2次空気温度の高温化を図る方式もある。</p> <p>廃熱ボイラー付設の場合の例</p>  <p>【留意事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 循環空気を導入する風車には耐熱・耐摩耗対策が必要となる。</li> <li>2) クーラー排気の温度は運転状態により変動するので、冷風取入口の設置などの空気温度安定化処置が必要である。</li> </ol> |      |        |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) (a)の場合 廃熱回収率 約10%向上（排気50%循環の場合）</li> <li>2) (b)の場合 熱量原単位 約25 kJ/kg-cl(6 kcal/kg)節減</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |        |
| 概算費用  | 50～80百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |        |
| 関連事項  | 廃熱発電の導入                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |        |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |        |

| 項 目   | サイクロンの低圧損化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 共通   | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>プレヒーターの排気風車の電力原単位はプレヒーターを構成するサイクロンの圧力損失の大小に左右される。また、負圧が高ければリークエアーが増す要因となるため、より低圧損のサイクロンとする技術が求められていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 技術の内容 | <p>サイクロンの圧損低減技術には次のようなものがある。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 特殊形状サイクロンの採用<br/>通常型のサイクロンの入口形状を工夫して入口風速を低下させることにより重力沈降効果を発揮させ、集塵効率を維持しつつ圧損低減する。また、軸流型や横型などの特殊な形状のものもある。</li> <li>2) ガイドベーン設置<br/>入口ガスの流れと旋回ガスの衝突する部分にベーンを設置し、入口ガスの縮流防止・サイクロン内下向流の形成を助長することにより、集塵効率を維持しつつ圧損を低下させる。</li> <li>3) サイクロン内筒構造の工夫<br/>適用するサイクロンの位置に応じて内筒や内筒内の整流板長さ等を調整する。又、内筒下部に特殊な装置を設け、反転時の圧力損失を大幅に低減できるとする報告もある。</li> </ol> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>特殊形状サイクロン</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ガイドベーン</p> </div> </div> <p>【留意事項】<br/>通常型サイクロンの圧力損失の大きさと集塵効率とはほぼ比例すると言われている。プレヒーター排ガスの含塵濃度は適正範囲に維持することが求められるので、圧損低減対策の実施にあたっては集塵効率への影響を十分に考慮する必要がある。</p> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ガイドベーン方式                    5～10%圧損低減（集塵効率同等）</li> <li>2) 特殊形状サイクロン            30～40%圧損低減（集塵効率同等）</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |         |
| 概算費用  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 2～5 百万円程度</li> <li>2) 40 百万円程度（直胴径 4,000 mm×2 基+ダクト改造）</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 関連事項  | プレヒーターの5段化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |         |
| 参考資料  | 第56回セメント製造技術シンポジウム p10(1999)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |

| 項 目   | バッグフィルターの低圧損化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 適用工程 | 導入時機    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 共通   | 1980 年代 |
| 背景と目的 | <p>従来のバッグフィルターには、濾布が劣化するにつれて経時的に圧損が上昇して電力原単位が悪化する、また濾布が短期間で破損するなどの問題点があった。低圧損で長期安定運転が可能な濾布が求められていた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |         |
| 技術の内容 | <p>従来のバッグフィルター用濾布にはフェルト質の材質が用いられていた。フェルト質濾布の濾過は、濾布表面に形成されたダストの一次付着層がその後のダストを濾過する機能を発揮する三次元濾過である。</p> <p>このため、材質内にダストが浸入して経時的に圧損が上昇する特性がある。</p> <p>この弱点を改善するため、フェルト基材の表面に微細多孔質膜をラミネートした濾布が開発された。濾過機構が微細な孔による表面濾過であるため、濾布からのダスト剥離が容易であるためダストの払い落しを適切に行うことによって濾布の圧力損失をほぼ一定に保つことができる。</p> <p>フェルト濾布と比較して、使用開始初期における圧損はやや高いものの、残留ダストの影響はないといってよく、長期間安定した低圧損運転が可能である。</p> <div data-bbox="418 853 1165 1270"> </div> <p style="text-align: center;">濾布の寿命と圧損の概念図</p> <p>【留意事項】<br/>表面濾過状態を維持するためにはダストの払い落とし状態を適切に保つ必要があることから、設備の点検・保守が重要である。</p> |      |         |
| 導入効果  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 約 30% 程度の圧損低減。(電力低減 or 処理風量増)</li> <li>2) メンテナンスの回数減。</li> <li>3) 安定した風量での長期運転が可能。</li> <li>4) 濾布寿命は 2 倍以上。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |         |
| 概算費用  | φ150 mm×L3,500 mm で@4,500 円程度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |         |

| 項 目     | ファンの回転数制御                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 適用工程     | 導入時期    |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|-------|------|-------|-----|--------|-------|------|-------|----|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 共通       | —       |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 背景と目的   | セメント製造プロセスでは、多くの大型ファンを使用している。この大型ファンで消費する動力を制御する方式としては、絞り制御及び回転数制御の方式があるが、回転数制御は絞り制御よりも省エネ性能に優れる。回転数制御には流体継手や二次抵抗制御等の機械的制御と、セルビウス制御やインバータ制御等の電氣的制御がある。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |         |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 技術の内容   | <p>大型ファンを駆動する電動機の回転数を変化させてファン回転数を制御する方式には電動機の種類に応じていくつかの方式があるが、代表的な静止セルビウス制御の例について記述する。</p> <p>プレヒーター排気ファンなどの大型ファンに使用されている巻線形誘導電動機の制御には、従来、二次側に可変抵抗器を組み合わせる回転数を変化させる二次抵抗制御方式が採用されていた。可変抵抗器としては液体抵抗器が代表的である。この方式は構成が単純なので、他の制御方式よりも経済的である。一方、回転数が段階的に変化すること、低速度では二次抵抗損失が大きくなり効率が他の方式よりも劣るなどの短所がある。</p> <p>従来、最大生産を継続している間は特に問題とはされなかったものの、長期にわたって抑制運転が続くと、二次抵抗損失による効率の悪さが問題視され、これに変わるより効率の高い制御方式として静止セルビウス制御が盛んに採用された。</p> <p>静止セルビウス制御では、二次回路に電圧をかけることによって回転数を変化させるが、この二次電力のうちの二次スリップ電力をインバータで交流に変換し、一次電力（電源）側に変換する機構になっている。</p> <p>このため、二次抵抗制御よりも高効率になり、低速における力率低下による損失もより少ない。ただし、費用はより高価である。</p> |          |         |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
|         | <div><div></div><div></div></div> <p>【留意事項】</p> <p>1) 常にフル生産が期待できない場合に備え、事前にケーススタディを行うなど経済性を十分に検討すべきである。</p> <p>2) この他、最近インバータ制御も普及している。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |         |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 導入効果    | <table><tr><th>制御方式</th><th>出力 (kW)</th><th>総合効率 (%)</th><th>入力 (kW)</th><th>省電力 (kW)</th></tr><tr><td>セルビウス制御</td><td>1,487</td><td>93.0</td><td>1,599</td><td>220</td></tr><tr><td>二次抵抗制御</td><td>1,487</td><td>81.7</td><td>1,819</td><td>--</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |         | 制御方式     | 出力 (kW) | 総合効率 (%) | 入力 (kW) | 省電力 (kW) | セルビウス制御 | 1,487 | 93.0 | 1,599 | 220 | 二次抵抗制御 | 1,487 | 81.7 | 1,819 | -- |
| 制御方式    | 出力 (kW)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 総合効率 (%) | 入力 (kW) | 省電力 (kW) |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| セルビウス制御 | 1,487                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 93.0     | 1,599   | 220      |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 二次抵抗制御  | 1,487                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 81.7     | 1,819   | --       |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 概 算 費 用 | 30 百万円 （モーター定格 2,350kW 6P 3,300V 60Hz）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |         |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 関 連 事 項 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          |         |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |
| 参 考 資 料 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          |         |          |         |          |         |          |         |       |      |       |     |        |       |      |       |    |

| 項 目     | ファンのインペラーカット                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 適用工程                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 導入時期         |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--|---------------|-----------------------------|--------------|---------------|------|-------|-------|-------|----|------|-------|-------|-------|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 共通                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1980 年頃      |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| 背景と目的   | セメント製造工程では燃焼ガスや空気の処理のために多数のファンを使用している。これらのファンは、通常、使用部位において必要な能力を備えたものが設置されているが、過大な余裕を持つものや工程の変化などによって余裕が増大するものもある。<br>これらはそのまま放置すれば無駄な電力を消費することになるため、対策としてファンのインペラーカットが実施される。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| 技術の内容   | ファンのインペラー（ランナー）カットは一般に下図のような形で実施される。<br><br>同一回転数の場合、風量はインペラー径の比に比例する。また、圧力は比の2乗、電力は比の3乗に比例することから、省エネルギー効果は大きい。<br>インペラーカットの限界は、一般的に、オリジナル径の20%程度と言われている。過度のカットを行うと、<br>1) ファンの効率が無視できないほど低下する。<br>2) ファンの機械的強度が大きく低下する。<br>3) 回転数を上げて運転する場合には振動発生などの機械的不安定度が増す。<br>4) 余裕が過少になり、トラブルが発生し易くなる。<br>などが懸念される。<br>このため、風量で20%以上の削減を行う必要がある場合にはインペラーの交換で対応する。<br><br>【留意事項】<br>1) インペラーカットは構造が単純なファンについては自前で加工が可能であるが、翼型ファンなどの複雑なものはメーカーとの相談が不可欠である。<br>2) 加工はファンを設置したままの状態で行える場合もあるが、メーカーの工場で行う必要がある場合もあるので、事前の相談・準備が望ましい。<br>3) 加工後のバランス調整を十分に行うこと。 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
|         | 導入効果                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1700kW キルン IDF での実施効果（風量は同じ） <table><tr><th></th><th>インペラ径<br/>(mm)</th><th>回転数<br/>(min<sup>-1</sup>)</th><th>消費電力<br/>(kW)</th><th>省エネ電力<br/>(kW)</th></tr><tr><td>カット前</td><td>2,620</td><td>1,200</td><td>1,475</td><td>--</td></tr><tr><td>カット後</td><td>2,380</td><td>1,300</td><td>1,313</td><td>162</td></tr></table> |              |               |  | インペラ径<br>(mm) | 回転数<br>(min <sup>-1</sup> ) | 消費電力<br>(kW) | 省エネ電力<br>(kW) | カット前 | 2,620 | 1,200 | 1,475 | -- | カット後 | 2,380 | 1,300 | 1,313 |
|         | インペラ径<br>(mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 回転数<br>(min <sup>-1</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 消費電力<br>(kW) | 省エネ電力<br>(kW) |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| カット前    | 2,620                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1,200                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1,475        | --            |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| カット後    | 2,380                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1,300                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1,313        | 162           |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| 概 算 費 用 | ファンインペラー入れ換え工事      20 百万円<br>（インペラーの主、側板込みのカット）<br>ベーンのみのカット                      2 百万円                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| 関 連 事 項 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |
| 参 考 資 料 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |               |  |               |                             |              |               |      |       |       |       |    |      |       |       |       |

| 項 目   | マテリアルシール                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 適用工程 | 導入時期    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 共通   | 1988 年頃 |
| 背景と目的 | <p>セメント製造プロセスで特に負圧の強い堅型ミルの原料シュート部位でエアーリークがガス量を増加させ、温度低下による粉碎能力の低下、ファン動力の増加を招いている。</p> <p>エアーリークを低減する方法としては、複数段のフラップダンパーや複数列のスクリーフィーダーを使用することが出来る。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |         |
| 技術の内容 | <p>3 段 F D 方式は 3 段のフラップダンパーを重ねて、上、中、下段の順序で開いていき、1 段が開いている状態では、他の 2 段は全閉にする仕組みであり、フラップ間の原料の存在でマテリアルシール効果を高めている。</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>原料</p>  </div> <div> <p><b>FLAP OPERATION</b></p>  </div> </div> <p>ダブルスクリー方式は、並列配置のそれぞれ内側に回転するスクリー内部に原料を充填して送り出すことで、マテリアルシール効果を高めている。</p>  |      |         |
| 導入効果  | <p>3 段 F D 方式で、堅型原料ミル出口ガス量 <math>330,000\text{m}^3/\text{h}</math> 中のリーク分 <math>100,000\text{m}^3/\text{h}</math> の内、30%にあたる <math>30,000\text{m}^3/\text{h}</math> を低減した。これは IDF 動力低減で <math>150\text{kW}</math> に相当し、4%の低減効果がある。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |         |
| 概算費用  | <p>3 段 F D 方式 15 百万円</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |         |
| 関連事項  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |
| 参考資料  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |         |

### 第 3 部 Technologies of Energy Saving and Resouces Saving in the Japanese Cement Industry

# Technologies of Energy Saving and Resources Saving in the Japanese Cement Industry

## 1. Introduction

The Japanese cement industry with long history of over one century has come to take world's top position in many fields such as cement quality, energy consumption, engineering management at factories, labor productivity and environmental protection. In addition, the cement industry has recently been tackling the utilization of wastes and others, and has exhibited remarkable achievements so far.

On the other hand, there are technological themes for the cement industry against global environmental issues, especially a global warming issue. For reducing greenhouse effect gases, the promotion of further energy saving is desired. In other aspect, the promotion of waste treatment as the social theme of Japan, it means the tackling of realization of resources circulating society in broad meaning is strongly desired. As to this issue, the cement industry is positioned as one of core industries for realizing the resources circulating society aimed at zero emission, and is expected to contribute to the society, further.

## 2. Transition of clinker manufacturing process

A large amount of energy is consumed in the cement manufacturing process and also this process is mass production type. For this reason, the manufacturing technology of cement has been developed amid the history of improvement in efficiency by expansion of production capacity, large scale-up.

The processes of manufacturing cement are constituted of 3 processes, namely a raw material process, a burning process, and a finishing process. The technological renovation and improvement have been proceeded in each process, and the burning process to manufacture clinkers is situated as the core process.

In the burning process, pulverized mixtures of limestone, clay and other materials are sintered at high-temperature (1,450°C) to form hydraulic minerals. Because the quality of cement mostly depends on the quality of manufactured clinkers, the processes of cement manufacturing have been shifted and developed with focus on the technological development of burning process.

In the past days, c linker was burned in a shaft kiln. But after a rotary kiln came to be used, various types were developed and adopted. Typical types are as follows.

### ● Wet process

Raw materials are pulverized with water to make slurry, and dehydrated cakes are fed to a kiln.

### ● Repole system

Raw materials are pulverized under dry process. After granulating, they are fed into a kiln through a preheater.

● Dry boiler system

The heat of kiln exhaust gas with high-temperature (700°C) is recuperated in a boiler, and it is converted into electrical power.

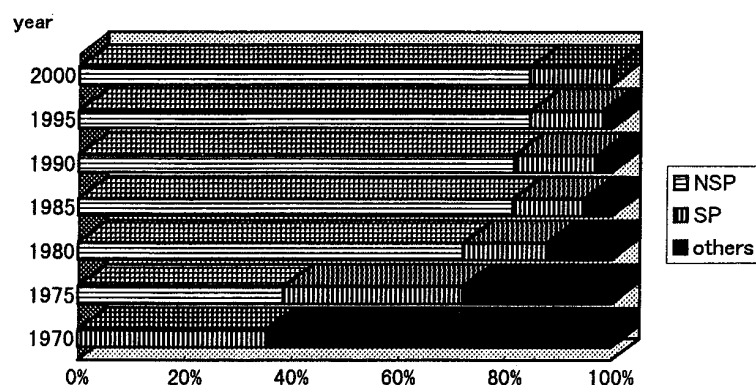
The above process and systems were competed in 1960s in Japan. However, these kilns had capacity of approx. 2,000 t/d, which means small scale with annual production of less than 1 million tons.

Under such circumstances, the suspension preheater (SP) system was developed in Germany in 1960, and it was a start of technology renovation leading to the present.

The suspension preheater is a heat exchanger facility, and it is consisted of large-scale cyclones. The SP system had a feature that pulverized raw materials are fed from the upper part of a preheater and are suspended in kiln exhaust gas for heat exchanging. By this system, partially decarbonation reaction of limestone in raw materials proceeds in a SP, and calcined raw materials are fed into a rotary kiln. As a result, the thermal efficiency of burning process drastically increased than before, and the production capacity increased. This system was imported into Japan in early stage, and as a result of technological development of this system, a world's first 4,000 t/d scale kiln was realized in Japan.

Demands for expansion of production capacity were intensified further, and a really innovatory new suspension preheater (NSP) equipped with pre-calciner was developed in Japan in 1971. And an extra-large kiln with 8,000 t/d scale appeared. The feature of NSP system is that most of decarbonation reaction of limestone is actively carried out in a NSP. The maximum approx. 60% of heat quantity is used in pre-calciner. The burning of clinker requires a large amount of thermal energy for the decarbonation of limestone (endothermic) and the sintering reaction of clinker (exothermic). By supplying thermal energy for each reaction in 2 separated places, thermal efficiency was improved and the rated capacity increased to more than twice of the past.

Fig.1 shows the transition of production ratio of clinker by kiln system in Japan. In Japan, new construction of NSP system and remodeling of existing kilns to NSP system had proceeded by 1980, and various types of NSP system were developed during this transition.



**Fig.1 Production ratio of clinker by kiln system**

NSP system has the following advantages compared with other systems.

(a) Heat quantity supplied to a kiln is what is required only for sintering of clinker, so production capacity increases largely compared with the same diameter of kilns.

(b) The problem of "shortened life of lining brick", which was surfaced by the enlargement of diameter of kiln in an SP system, is solved or mitigated by a decrease in thermal load per the cross section of burning zone. And, it enables the long-term stable operation.

(c) Because the burning quantity of fuel in the kiln decreases, the generation of thermal NOx can be reduced.

NSP system is the most effective burning process from the practical viewpoint even at present after passage of 30 years from the development. Kilns with 10,000 t/d scale were frequently constructed in Asian countries in recent years, and all kilns adopted NSP system.

### **3. Rationalization and present state of the Japanese cement industry**

Table 1 and Table 2 show the scale of the cement industry in Japan.

As of the year of 2000, the number of kilns is 65 and the capacity of kilns is about 87.2 million tons/year. Approx. two-thirds of cement plant have a capacity of 1 - 3 million tons/year, and 93% of total cement production is produced by large scaled plants with a cement production of over 1 million tons/year. There are 2 super mammoth plants with a cement production of over 5 million tons/year.

**Table 1 Cement industry in Japan (in 2000)**

|                     |       |                   |
|---------------------|-------|-------------------|
| Companies           | 18    | million<br>tons/y |
| Plants              | 37    |                   |
| Kilns               | 65    |                   |
| Capacity of kilns   | 87.2  |                   |
| Employees of plants | 4,758 |                   |

**Table 2 Kiln capacity of cement plants (in 2000)**

| Kiln capacity<br>(million tons/y) | Number of<br>Plants | Capacity<br>ratio(%) | Per plant capacity<br>(million tons/y) |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|
| 0.5 ~ 1.0                         | 8                   | 7.5                  | 0.822                                  |
| 1.0 ~ 2.0                         | 11                  | 18.8                 | 1.488                                  |
| 2.0 ~ 3.0                         | 10                  | 28.8                 | 2.509                                  |
| 3.0 ~ 4.0                         | 3                   | 13.3                 | 3.871                                  |
| 4.0 ~ 5.0                         | 3                   | 16.0                 | 4.645                                  |
| 5.0<                              | 2                   | 15.6                 | 6.823                                  |
| total/average                     | 37                  | 100.0                | 2.357                                  |

Origins of data; Cement Handbook 2000,  
Japan Cement Association

By the innovation of clinker manufacturing technology, scale-up of production has rapidly progressed. Following this change, other rationalizations have proceeded. Table 3 shows this transition.

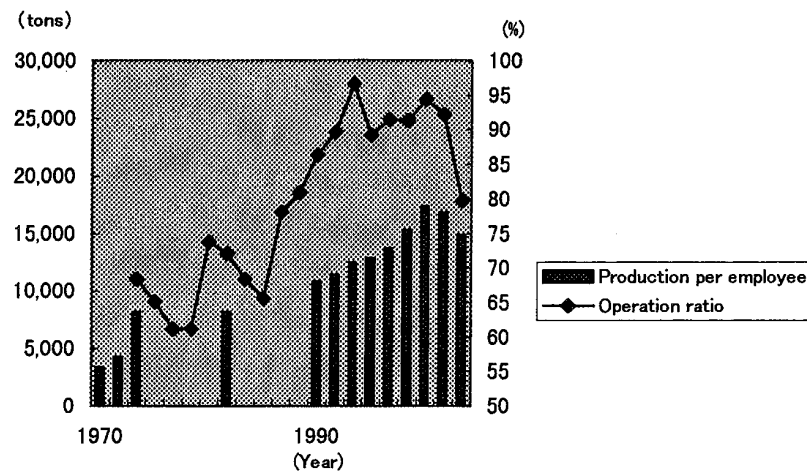
The number of kilns was nearly halved from 226 in 1970 to 98 in 1985 as a result of the introduction of new technologies, and even afterwards the integration of production is further advancing. Originally locality-based cement plants have been transformed to the wide-range existence with the establishment of integrated production and mass transportation system. In some cases, cement plants have been further transformed to the existence with focus on overseas markets, and at present these situations are complicated.

The number of employees at cement plants have also decreased, and it is about one third of that in 1970 at present. It is due to the development of operation control techniques, the improvement of reliability on facilities, and the subcontracting of part of jobs. As a result, productivity reached about 16,000 tons/person·year, about 5 times of that in 1970.

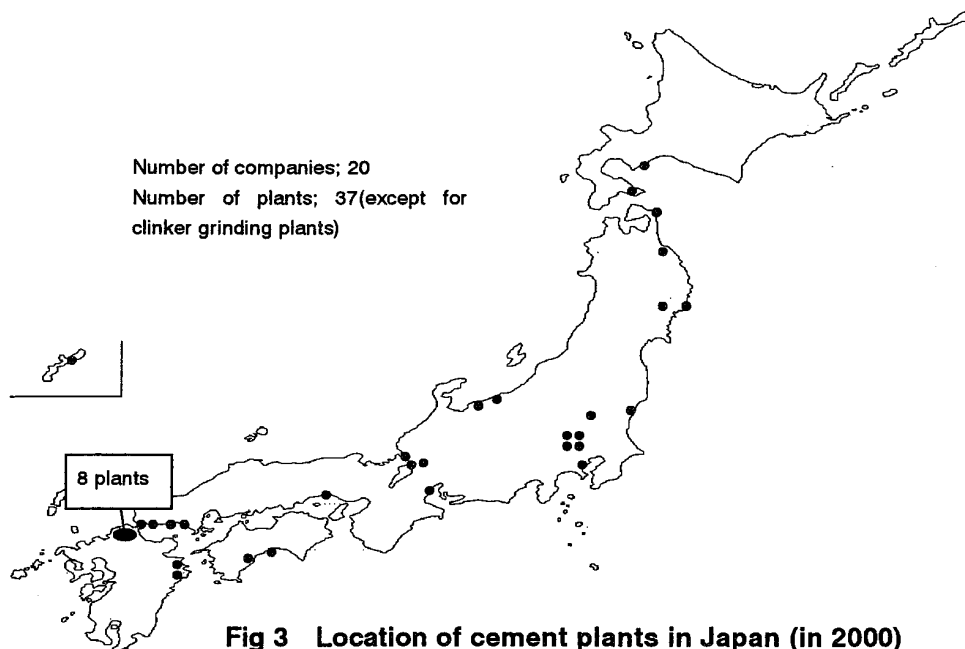
**Table 3 Transition of production rationalization**

| Year | Number of<br>plants | Number of<br>Kilns | Kiln capacity<br>(mt-cl/y) | Clinker<br>Production<br>(million ton) | Plant<br>Workers | Production per<br>employee<br>(tons) |
|------|---------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| 1970 | 58                  | 226                | 86.4                       | 54.9                                   | 16,549           | 3,316                                |
| 1975 | 53                  | 246                | 120.8                      | 63.2                                   | 14,774           | 4,275                                |
| 1980 | 53                  | 192                | 126.4                      | 86.3                                   | 10,830           | 7,965                                |
| 1985 | 44                  | 98                 | 98.0                       | 70.7                                   | 8,617            | 8,207                                |
| 1990 | 41                  | 80                 | 87.2                       | 75.3                                   | 6,949            | 10,834                               |
| 1995 | 41                  | 81                 | 97.6                       | 89.1                                   | 5,830            | 15,282                               |
| 1999 | 89                  | 75                 | 95.6                       | 74.3                                   | 4,758            | 15,606                               |
| 2000 | 37                  | 65                 | 87.2                       | 75.6                                   | 4,387            | 17,227                               |

Fig.2 shows the transitions of productivity and operation rate of kiln. It is said that the Japanese cement industry has reached maturing age, and the superfluous capacity compared with demands has surfaced as a problem by recent economical stagnation. For this reason, the abolishment or shutdowns of production lines are proceeding, and the integration of production is expected to further proceed in the Japanese cement industry.



**Fig.2 Transition of clinker production ratio by each production ratio**



**Fig 3 Location of cement plants in Japan (in 2000)**

Fig.3 shows the location of cement plants in Japan. In many cases large-scale plants locate in coastal zones, those are endowed with limestone as a main raw material. And these plants utilize ports for the import of coal as a main fuel and for the shipment of cement in handling large quantities of transportation.

On the other hand, the production scale of plants located in inland is rather small, but some plants located near big cities have large scale.

Because in the cement industry that requires large quantities of production and shipment in general, inland plants are disadvantageous in various transportation costs. However, following the advancement of utilization of wastes etc., the advantage of plants located near big cities has appeared in terms of waste treatment, etc. It is related to new roles of cement plants in the movement of construction of the resources circulating society.

#### 4. Energy consumption of the cement industry

In cement manufacturing, the burning process mainly uses fuel (thermal energy) and electrical power, and the raw material process and the finishing process mainly use electrical power.

In addition to technological innovations and improvements in each process, the power station by the waste heat and the utilization of various wastes as fuel are actively carried out.

##### 1) Transition of specific thermal energy consumption

Under the situations that SP system was introduced and further NSP system was developed, the conversion of fuel from heavy oil to coal rapidly progressed as a result of oil shock which occurred in 1970s. And even afterwards active energy saving for dealing with the increase of energy cost was extended.

Fig.4 shows the transition of specific thermal energy consumption. The result of efforts for energy saving of the cement industry in Japan is clear at a glance from Fig. 4. It is clear that from the start of 1970, the reduction of about 33% of based on specific thermal energy consumption was attained during about 15 years. The reduction of specific thermal energy consumption is divided into 2 stages. The reduction in the first stage until about 1980 is considered mainly due to the change of burning process. The reduction in the second stage until 1986 is considered due to the utilization of various energy saving technologies and the improvement of management technologies.

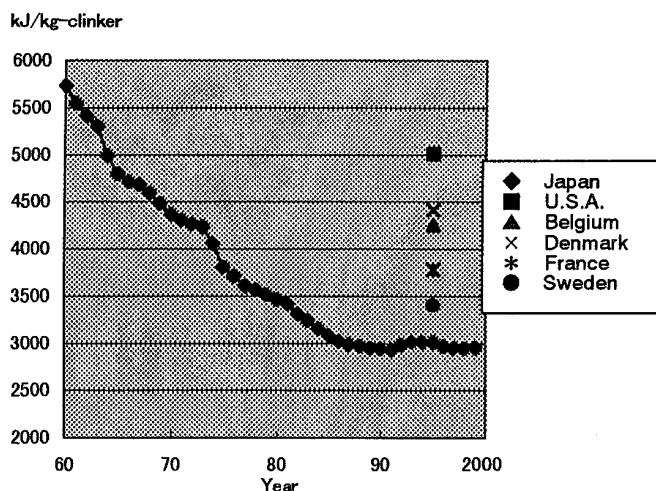


Fig.4 Transition of specific thermal energy consumption

Origins of data : Japan; Japan Cement Association  
U.S.A.; Estimation from Cement Industry Fact Sheet (1995)  
Others; EUROPEAN ANNUAL REVIEW (1995)

In Fig.4, the specific thermal energy consumption of the cement industries of main advanced countries in 1995 are showed, too. From this figure, it can be understood that

the cement industry of Japan positions at top level. The efforts of energy saving in Japan results this high degree of achievements.

However, the specific thermal energy consumption has been leveling off since 1990, the great achievements were made in the past. One of the main reasons is considered that no more room is left for large improvement as the result of the advancement of energy saving activities.

As an example, the heat balance of an NSP system equipped with the power station by the waste heat, a typical burning system in the present Japan, is shown in Table 4.

In this case, 80% of input heat is effectively utilized, and the energy utilization efficiency has reached very high level. It will be understood that since many kilns in Japan have already adopted the nearly same system, further large improvement of the efficiency is difficult as a whole.

**Table 4 An example of heat balance NSP system equipped with power station by waste heat**

| Input(%)                                  |     | Output(%)                                      |     |            |
|-------------------------------------------|-----|------------------------------------------------|-----|------------|
| Fuel combustion heat                      | 97  | Heat of calcination clinker                    | 53  | Used heat  |
|                                           |     | Heat of raw material drying                    | 8   |            |
|                                           |     | Heat of coal drying                            | 1   |            |
|                                           |     | Heat of waste heat power generation recovery * | 18  |            |
|                                           |     | Subtotal                                       | 80  |            |
| Sensible heat of raw materials and others | 3   | Sensible heat of clinker                       | 3   | Waste heat |
|                                           |     | Sensible heat of waste gas                     | 9   |            |
|                                           |     | Others                                         | 8   |            |
|                                           |     | Subtotal                                       | 20  |            |
| Total                                     | 100 | Total                                          | 100 |            |

\*Steam generation base

Under such circumstances, the latest cement industry is devoting its efforts in the direction of the diversification of energy (heat) resources, in addition to the further efforts on the popularization of energy saving facilities.

In the concrete, this direction means that industrial waste materials and non-industrial waste materials are utilized as alternative fuels, and the use of fossil fuels that have been used up to now is reduced to the utmost.

For reducing the use of fossil fuels with good quality to the utmost by replacing of alternative fuels, further the development of the combustion control utilization technology based on is necessary. And various efforts to this direction are under way.

The direction is different in nuance from the energy saving in the past, but is common in the implication of the saving and preservation of fossil fuels. In addition, it also contributes to

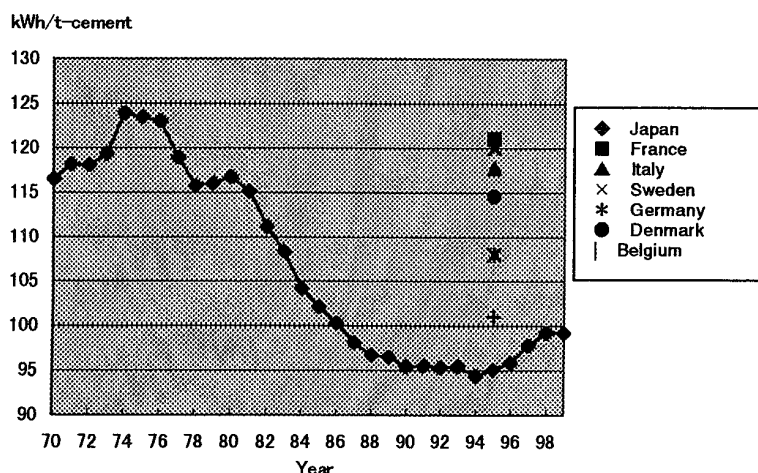
the reduction of CO<sub>2</sub> emission in the global viewpoints.

## 2) Transition of specific electrical power consumption

Fig.5 shows the transition of specific electrical power consumption. The electrical power at cement plants is used mostly for grinding system in raw materials process and finishing process, for various fans to treat a large volume of air and exhaust gas and for driving facilities of kiln transportation equipment and others.

The specific electrical power consumption shows the nearly transition trend as the specific thermal energy consumption, and the reduction of about 20% based on it of 1970 was attained.

The result of comparison with foreign countries shows the similar trend as the case of specific thermal energy consumption, and the high level of energy saving of the cement industry in Japan. The increase of the specific electrical power consumption after 1997 is considered due to inefficient operation due to the decrease in production quantity, but and it includes also the degradation factor by the increase of the installations for wastes.



**Fig.5 Transition of electrical power consumption**

Origins of data: Japan ; Cement Handbook,  
Japan Cement Association  
Others; EUROPEAN ANNUAL REVIEW (1995)

Grinding technologies of raw materials and clinker have also changed.

As grinding facilities in the cement industry, tube mills (or ball mills) have been used from the old days. A large number of steel balls as grinding media are contained in a tube mill.

In the dry grinding system using a tube mill, technological development has been made from the open circuit grinding system, to the closed circuit grinding system.

In the open circuit grinding system, the control method to obtain required fineness of products is limited to the control of supplying quantity of materials to a mill. For this reason, coarse particles tend to remain in products and the part of the products are excessively ground. So the open circuit grinding system left problems to be solved in the quality of

products and the energy consumption.

On the other hand, in the closed circuit grinding, ground products in a tube mill are classified into fine particles and coarse particles by a separator. And, the coarse particles are fed to the tube mill. So the problems in the open circuit grinding system was solved, and the grinding efficiency and the quality of product was improved.

In the next stage, the improvement of the classification efficiency of a separator became a target. From Gayco-Emerick type, Sturte Vant type and cyclone type in the initial stage, the latest rotor type separator with the highest performance have been developed and adopted. During this period, tube mills were scaled up following the increase of capacity of clinker burning, and tube mills of two chamber type has become a most popular. Each chamber functions coarse grinding or fine grinding.

It is considered that the innovation of grinding technology has started with the introduction of a newly developed vertical mill. Vertical mill has higher grinding efficiency than tube mill, since materials are ground between some rollers and rotating table. In addition, since drying and grinding can be carried out simultaneously by introducing high-temperature exhaust gas into a mill, vertical mills were widely spread in the grinding of raw materials and coal, and were showing remarkable effects on the simplification of the process and power saving. Later, vertical mills for finishing process were developed and adopted, and its has been also applied to grinding of slag.

On the other hand, for purpose of the performance improvement and the efficiency improvement of a existing tube mills for finishing process, the pre-grinding system using a high-pressure grinding rolls or a vertical roller mill was developed and adopted. Instead of grinding in the first chamber of conventional tube mill, these installations coarsely grind clinker and then smaller particles are ground in the tube mill. Since the efficiency of coarse grinding is improved, and the ground materials is ground remarkably finely, ability of fine grinding in the tube mill is improved. The introduction of a pre-grinding system has materialized a large extent of energy saving of the grinding process, along with the adoption of small sized grinding media in a tube mill and the adoption of a high-performance separator.

The deduction of electrical power for fans was realized by adjusting fan capacities which became affordable by the effect of measures for pressure loss decrease at various parts. In addition to the improvement of facilities, the technological progress of software such as the improvement of fan control also greatly contributed to electrical power saving.

## **5. Present state of energy saving and resources saving in the Japanese cement industry.**

In the previous chapters, the transitions of manufacturing technologies were described. This attained level of main technologies at the present state of the Japanese cement industry and the future trends.

## 1) Present state of energy saving

### (1) Power station by waste heat

Following the increase of production capacity per kiln due to the utilization of NSP system, power station by waste heat was rapidly diffused since around 1980. In this technology, waste heat from preheater exhaust gas at about 400°C and waste heat from clinker cooler exhaust gas at about 250°C are recuperated at a waste heat boiler, and converted into electric power at a mixed-pressure steam turbine and a generator. Since the amount of generated electrical power per 1 ton of clinker is 35-40 kW on an average, about the generation of 8,000 kW per hour is possible for a 5,000 t/d kiln, and the power station by the waste heat is reaching within the limit of investment payability.

In an NSP kiln equipped with a power station by the waste heat, the energy utilization efficiency on burning process exceeds 80%. The temperature of exhaust gas from the boiler of preheater is about 250 °C. Further, exhaust gas is used for drying raw materials, and it decreases to about 100 °C. The temperature of exhaust gas from the boiler of cooler is about 100 °C. The both exhaust gases reach the ultimate condition that thermal energy is with no value in terms of industrial use. Therefore, further reduction in heat consumption on burning process leads to the decrease of waste power generation quantity, which brings about cynical condition that new energy saving investment is no more economically feasible. The spread of technology on power station by waste heat has reached a pause, but it will be gradually applied to the construction of a large-scale facility overseas.

### (2) 5-Step preheater for SP and NSP

In kilns in which power station by waste heat is not feasible but heat quantity for drying of raw materials is excessive, remodeling from 4-stage cyclone system to 5-stage cyclone system was carried out for the purpose of reducing thermal energy consumption.

By adopting the 5-step system, heat exchanging ability between raw materials and offgas increases and the 5-stage cyclone system, the heat exchanging ability between raw materials and exhaust gas increases, and the calcination rate of raw materials increases. Therefore the stability of the burning process increases and the thermal efficiency of the total system increases. For this reason, the adoption of 5-stage preheater has become a main stream in the case of new kilns.

### (3) Fluidized bed cement kiln system

Development of a new burning process following the NSP system is under way. In a fluidized bed cement kiln system, a fluidized bed burning facility(kiln) is incorporated into the under part of a preheater. It is said that clinker burning is carried out in a stationary facility. This is a new system that has broken the existing concept of "clinker burning by a rotary kiln." It is considered that this system has difficulty in large scale-up compared with NSP system but has less specific thermal energy consumption by about 10%. In the future,

this system is expected to be applied to the remodeling chance of small and old facilities overseas.

#### (4) Air beam type clinker cooler

The grate cooler of air chamber system was a main stream in the past. In recent years, air beam type clinker coolers has been spreading in Japan by replacing grate coolers.

Since the heat recuperation efficiency of a cooler greatly affects the specific thermal energy consumption, a high efficiency cooler that is capable of gaining the secondary air in higher temperature is important for energy saving. The air beam type clinker cooler is applied to the region between the clinker dropping portion and the secondary air recuperation portion. The applied results show that heat recuperation efficiency is improved by several % compared with the conventional system.

The air beam system has several types, and actual introduced cases to kilns were 32% in 2000.

Although the air beam type clinker cooler is expected to come into wide use for the renewal occasion of existing coolers, the development of new technologies on coolers are under way at present.

(Note: The above air beam type is total nomination of cooler types equipped with mechanism supplying cooling air by an exclusive fan to the several unit of grate plates.)

#### (5) Vertical mill

In the field of grinding, a vertical mill for grinding raw materials spread since about 1970. Since drying and grinding can be carried out at the same time in vertical mills, the process becomes simple and the controlling of mixing of raw materials can be made promptly. However, following an increase in the use of coal ash as substitute of clay, the using ratio of quartzite increases for adjusting raw mixture's component, recently. In the result, the wear rate of tables and rollers are apt to increase. Regarding vertical mills for grinding raw materials, deep consideration for maintenance of facility shall be important.

In vertical mills, the cost of used electrical power is high when all pulverized products are transported by air. Therefore, the external circulation process has been introduced, in which a portion of pulverized products are discharged to the outside a mill and transported mechanically. In 2000, the introduction ratio of the external circulation process is about 50% of the total of vertical mills for grinding of raw materials and slag.

The vertical mill for grinding cement was developed in Japan and it was showing large energy saving effects. But the introduction of a pre-grinding system has become a main stream in Japan, and the grinding cement by vertical mill is spreading mainly overseas.

#### (6) High-performance separator

In classification technology closely related with grinding technology, the high-performance separator of rotor type developed in Japan. It is widely utilized not only in Japan but also in

overseas. In addition, the international classification part of a vertical mill is remodeled to the rotor type for the purpose of improving the efficiency. This technology is expected to spread in the future.

#### (7) Pre-grinding crusher

In finishing process, pre-grinding crushers has been spread. The pre-grinding crusher is installed in the up stream of the tube mill. This system improves the grinding efficiency. As a pre-grinding crusher, a high-pressure roll press with relatively low price which was developed in Europe. But, in many cases, the expected effects were not obtained due to the insufficient life of the roll and the difficulty in maintenance. The vertical roller mill as pre-grinding crusher was developed in Japan, and the use of vertical roller mill has become a main stream.

The pre-grinding system has the advantage of maintaining production capability in case of the trouble of a pre-grinding crusher by the operation of a tube mill, and it is expected to spread in the future.

#### (8) Daily management

Behind the fact that the technology of Japanese cement industry has come to be positioned as world's top level, there are the facts that the careful control and the improvement of troubling parts are daily carried out, in addition to the application of main energy saving technologies as aforementioned.

For instance, in quality control, the measurement frequency of the free lime and the density of clinker drastically increased by introducing an automatic measuring instrument, and the control of operation conditions is finely adjusted. The introduction ratio of these instruments is 30% and 19% respectively in 2000.

The improving of facility management activities such as TPM activity have been carried out, and the reductions of energy loss and cost have been attained through enabling long-term operation by the prevention of facility failure.

#### 2) Present state of resources saving

In increasing consciousness for environmental protection, in Japan with a large number of population, scarce land areas, and large generation quantity of industrial wastes, the establishment of waste treatment method instead of landfill has become a social problem. The cement industry took up measures for accepting and treating waste materials in the early stage, by utilizing peculiar advantages of the cement industry. It has been making great achievements.

The peculiar advantages of the cement industry in accepting and treating wastes are as follows.

- (a) Waste materials having main components of  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  or  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  can be used as raw materials for cement.

- (b) Even though the wastes have low heat quantity, they can be used as fuel. And the residue can be used as raw materials. Therefore the secondary wastes are not produced.
- (c) Because waste materials are subjected to high-temperature chemical reaction, wastes are chemically converted without affecting quality of clinker.
- (d) Because the kiln is operated continuously, continuous treatment of wastes materials in large quantity is possible.

Table 5 shows the amounts of industrial waste materials and by-products used in the Japanese cement industry. In 1999, the cement industry accepted about 25.6 million tons of industrial waste materials and by-products from other industries. They are used as raw materials and/or fuels. Since the production of cement in 1999 was about 82.2 million tons, the used waste materials and by-products per 1 ton of cement are about 310 kg on average.

**Table 5 Waste materials and by-products used in cement industry in Japan**

| (Unit: million tons) |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|
| Item                 | 1991 | 1995 | 1999 |
| Blast furnace slag   | 13.5 | 12.5 | 11.4 |
| Steel mfr. slag      | 1.3  | 1.2  | 0.9  |
| Nonferrous slag      | 1.4  | 1.4  | 1.3  |
| Coal tailing         | 1.8  | 1.7  | 0.9  |
| Coal ashes           | 2.4  | 3.1  | 4.6  |
| Dirt and sludge      | 0.5  | 0.9  | 1.7  |
| By-product gypsum    | 2.2  | 2.5  | 2.6  |
| Others               | 1.3  | 1.8  | 2.2  |
| Total                | 24.4 | 25.1 | 25.6 |

The use of waste tires or waste oil as alternative fuel leads to the saving of fossil fuels such as coals. It contributes to energy saving from the global viewpoints.

On the other hand, the use of waste materials without heat quantity has the following meaning.

Firstly, it is the reservation of natural resources. Natural resources to be applicable economically are limited, and the reservation and life prolongation of them are desirable for future' sake.

Secondary, it is the enhancement of energy utilization efficiency from the global viewpoint even industrial waste materials can be thought as a kind of product made by consuming energy. The use of such waste materials as raw materials of cement means the effective utilization of energy.

The typical examples of the use of waste materials and the related technologies are introduced as follows.

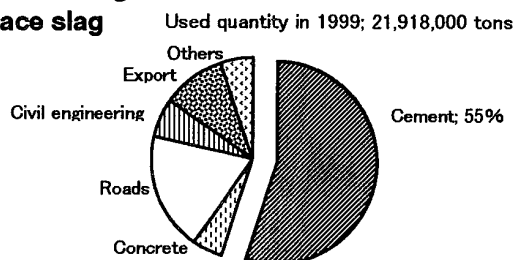
(1) Blast furnace slag

Blast furnace slag has hydraulic property similar to cement, and can be mainly used as the

base material for Portland blast-furnace slag cement, that is one of blended cements. Since most of blast furnace slags is granulated by water, it contains some quantities of water. And the blast furnace slag is required to be ground similar to cement. Because of these, vertical mills are used for grinding in most cases, which is capable of simultaneous drying and grinding and has high grinding efficiency.

Since blast furnace slag has low alkali content, it is partly used as a raw material for the purpose of reducing alkali in cement. The expansion of the use of various blended cements, besides to Portland blast-furnace cement, is effective in the reduction of CO<sub>2</sub>.

**Fig.6 Utilizing condition of blast furnace slag**



Origin of data: Nippon Slag Association

## (2) Coal ash

The used quantity of coal ash, which was generated at thermal power plants, in the cement industry is annually increasing. The used quantity of coal ash in 1998 was 5.09 million tons, and about 71% was treated by the cement industry.

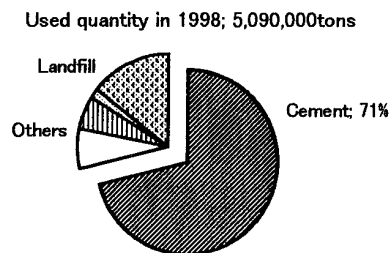
Coal ashes are classified into fly ash and bottom ash. Both are used as alternative material of clay. Even though depending on the compositions of coal ash, it is considered possible to use maximum 100 kg of coal ash per 1 ton of cement on average. And, the use of coal ash will supposedly increase in the future.

In terms of technical aspect, a large daily fluctuation of compositions of ashes due to the used coal brands at thermal power plants is a problem. For the large utilizing of coal ash as the raw material of cement, it will be important to improve the facilities of raw material mixing process for absorbing the effect of the composition fluctuation and/or to optimize the mixing control program.

Because coal ash has mostly higher content of alumina than natural clay, the supplement of silica component is necessary. For this reason, derivative problems occur. For example, the extraordinary wear of the main part of a vertical mill occurs due to the increase of specific consumption of hard silica stones.

Fly ash also has the application as admixture for blended cement.

**Fig.7 Utilizing condition of coal ash**



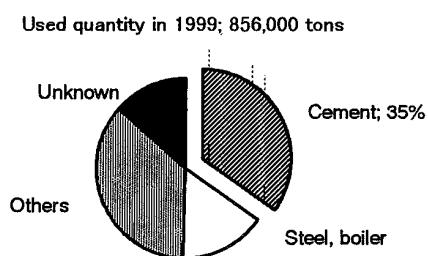
Origin of data: Center for Coal Utilization, Japan

### (3) Waste tire

A typical example of using wastes as alternative fuel is the use of waste tire. Tires are supplied to the inlet of a kiln or the bottom of a preheater in the shape of original form or cut form in small piece. In terms of technical aspect, since the effect on the process increases as the used quantity increases, the techniques for stabilizing the process is important, such as the stable supplying of waste tire and the control of exhaust gas temperature of bottom cyclone and raw materials.

Since tires contain 10-15% of wires and they affect the quality of product, there is a limit in used quantity in the case of direct feed. For passing this limit, gasification technology of waste tires has been put into practical use.

**Fig. 8 Utilizing condition of waste tires**



Origin of data: The Japan Automobile Tyre Manufactures Association, Inc.

In addition to the above-mentioned materials, the using or treating technologies for waste oil, various kinds of sludges, and drainage sludges, etc. were developed and put into practical use. For these cases, it is important to establish the stabilizing method of product quality, the quantitative feeding method and the compensation method in case of feeding stop due to any reasons. In addition, technologies for using non-industrial incineration ash and waste plastics have been put into practice, and they are expected to develop.

#### **(4) Chlorine bypass system**

In promoting the use of various kinds of waste materials in large quantities, a problem for cement manufacturing process is an increase of chlorine quantity entering into the system. The chlorine fed into a kiln system is concentrated in the system by repeated evaporation and condensing at between a kiln and a preheater, due to its high evaporation at high-temperature. And, the low-temperature melting substances including mainly chlorine and sulfur are produced at various places of inside wall of the preheater. The raw materials are adhered on surrounding of low-temperature melting substances, and the extra ordinary coatings develop. As the results, they cause process troubles such as ventilation trouble and cyclone clogging, resulting in a large amount of energy loss.

A chlorine bypass system is a process to extract a part of the gases or raw materials at the place where chlorine is concentrated to the outside of the system. The chlorine is effectively removed to the outside of system. The chlorine bypass system is capable of solving most of the above troubles. The applied ratio based on the number of plants in Japan is 54% as of 2000 and most applied plant evaluate that it is effective in the decrease of clogging frequency of cyclone.

In the gas extraction process, the rate of the gas extraction is 1-3%, which is much lower than the case of alkali bypass over 10%. Therefore, the recovered dust containing chlorine can be mixed at the finishing process, without affecting the product quality. So, the chlorine bypass system can be said dust-free.

In the raw material extraction process, less than 1% of raw materials based on clinker is bypassed, and it is recycled after removing chlorine by water-washing.

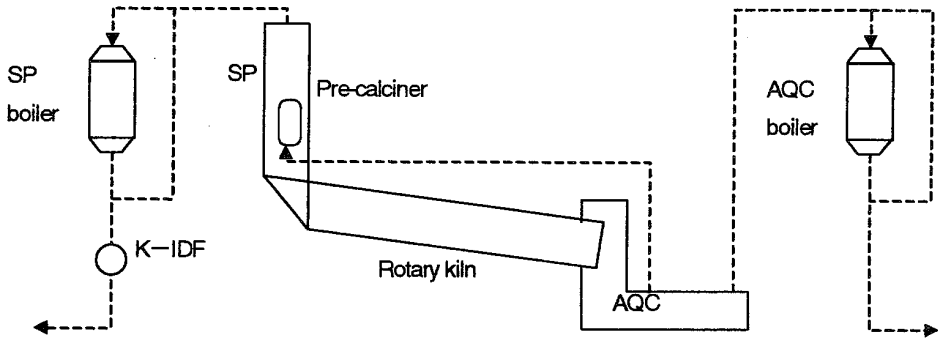
It is expected that the Japanese cement industry will further promote the large quantity treatment of various wastes, and the necessity of chlorine bypass system is expected to increase. In this sense, chlorine bypass system is becoming one of fundamental technologies to support energy saving and resources saving.

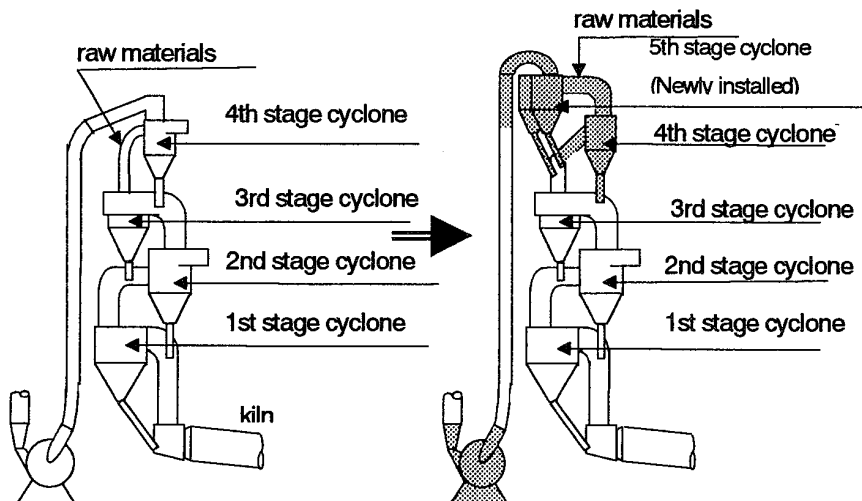
#### **6. Conclusion**

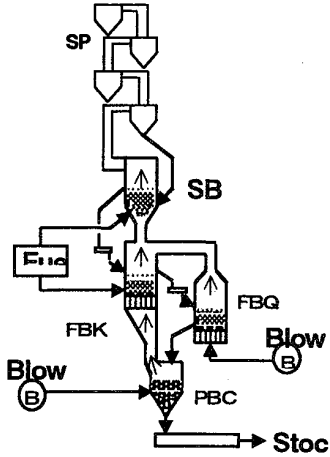
The cement industry in Japan is making a lot of efforts for playing a new role to contribute to the removal or relaxation of social and global environmental problems. In addition to the original role to supply high quality products by the production system with high energy utilization efficiency. In other words, the cement industry in Japan is accepting and treating various kinds of wastes.

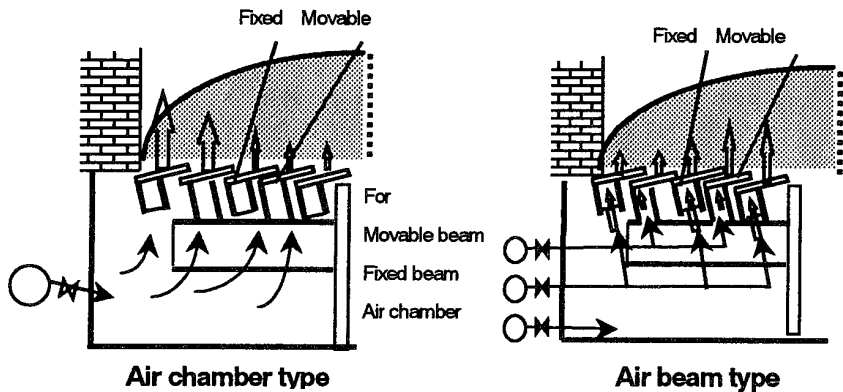
Even though the present situations of the cement industries in foreign countries are diverse, it is considered that they will proceed to the same direction to burden the treatment of various kinds of wastes sooner or later, when the future global environmental problems are taken into account. It is expected that the energy saving technologies and resources saving technologies summarized in this report are taken as reference and utilized.

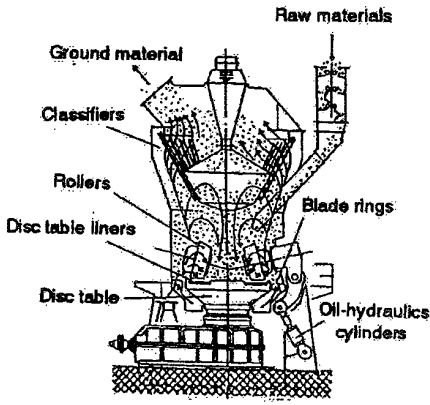
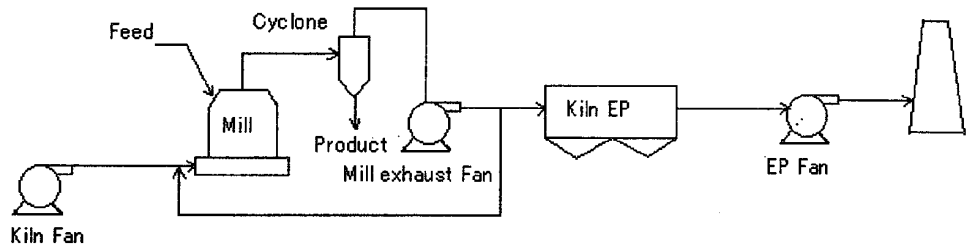
[Technologies]

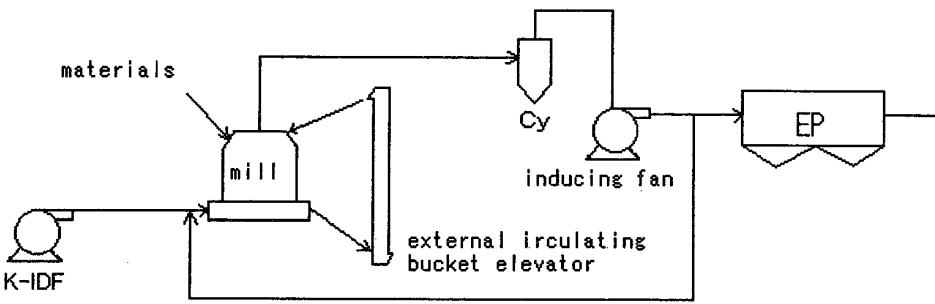
| Item               | Introduction of power station by waste heat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Application process | Introduced period |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Waste heat recovery | 1990s             |
| Background         | <p>The temperature of the exhaust gas from the suspension preheater (SP) or the new suspension preheater (NSP) is about 400°C. The exhaust gas has the surplus heat even if it is used to dry the raw materials. Also the surplus heat occurs from the clinker cooler. It was desired to utilize the surplus heat (= waste heat) for energy saving.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                   |
| Technical contents | <p>The power station by the waste heat has been introduced by the progress of technologies on the waste heat generation and the appearance of large-scale kilns.<br/> The popular system is as follows.<br/> The boilers are installed at the outlet of suspension preheater or clinker cooler.<br/> The low pressure steam is made in boiler by recuperation of waste heat. And, the electrical power is generated with the steam turbine.<br/> The amount of generated electrical power per 1 ton of clinker is 35-40kW on an average. In the case of kiln of 5000 ton per 1 day, the 8000kW of electrical power are generated.<br/> In the typical NSP kiln equipped with power station by waste heat, the energy utilization efficiency on the burning process reaches about 80% and the temperature of exhaust gas after using of drying raw materials is about 100°C.</p>  <p>【Notes】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) To increase the power generated, it is needed to decrease the heat for drying raw materials. Therefore, it is required to decrease the moisture content of raw materials.</li> <li>2) It is required to prevent the accumulation of the dust on the water pipes in the boiler.</li> </ol> |                     |                   |
| Introduced effects | The power station by waste heat can generate electrical power of about 35 to 40 kW per 1 ton of clinker.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                   |
| Equipment cost     | About 2,000 million yen for a power station                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |                   |
| Relative items     | The recycled utilization of the exhaust gas of the clinker cooler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     |                   |
| References         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                   |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|--|----------------|----------|-------|---------|-------|
| Item               | 5-stage system of suspension preheater                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Application process<br>Burning process | Introduced time<br>1970s |  |                |          |       |         |       |
| Background         | The suspension preheater is multistage heat exchanger between exhaust gas and raw materials. In case of 4-stage, the temperature of gas at the outlet of the preheater is around 400°C. This exhaust gas is used for drying raw materials. The surplus heat is discharged after himidiffication and the recover heat energy is not used. For achieving energy saving, remodeling of preheater from 4-stage to 5-stage is carried out.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| Technical contents | <p>There are two cases for 5-stage preheater. One is remodeling and the other is the adoption of 5-stage preheater in the case of new construction of kiln. By addition of one cyclone, the temperature of gas at the outlet of the preheater is decreased about 30~50°C. By adopting the 5-stage system, heat exchanging ability increases and the heat efficiency of the total system increases. As results, the specific heat consumption decreases. This technology usually applies to small capacity kilns that power station by the waste heat is not economically applicable.</p> <p>The example of remodeling</p>  <p>raw materials</p> <p>4th stage cyclone</p> <p>3rd stage cyclone</p> <p>2nd stage cyclone</p> <p>1st stage cyclone</p> <p>kiln</p> <p>raw materials</p> <p>5th stage cyclone (Newly installed)</p> <p>4th stage cyclone</p> <p>3rd stage cyclone</p> <p>2nd stage cyclone</p> <p>1st stage cyclone</p> <p>【Notes】</p> <p>The remodeling to the 5-stage system increases the pressure loss across the preheater and therefore increases the power consumption of the exhaust fan. By this, it is necessary to adopt a low-pressure-loss cyclone or practice measures for decreasing the pressure loss.</p> |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| Introduced effects | <p>Compared with 4-stage preheater, the specific thermal energy consumption decreases about 125 ~170kJ/kg-clinker (plant average) in case of 5-stage preheater</p> <p>Ratio of 5-stage preheater is 23 percentage in 1996</p> <p>The specific heat consumption compared with 4-stage system</p> <table><tr><td></td><td>5-stage system</td></tr><tr><td>NSP type</td><td>9 6 %</td></tr><tr><td>SP type</td><td>9 5 %</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                        |                          |  | 5-stage system | NSP type | 9 6 % | SP type | 9 5 % |
|                    | 5-stage system                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| NSP type           | 9 6 %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| SP type            | 9 5 %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| Equipment cost     | Addition of the one cyclone to kiln with the capacity of 2,500t/d as clinker about 100 to 200 million yen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| Relative items     | Low-pressure-loss-cyclone                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |
| References         | Survey of burning process, Report T-20 of the committee on Cement Manufacturing Technology                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                        |                          |  |                |          |       |         |       |

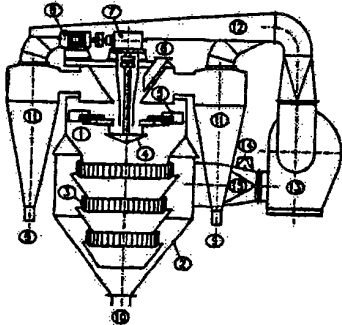
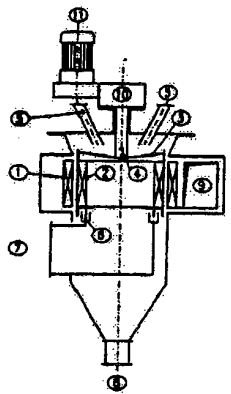
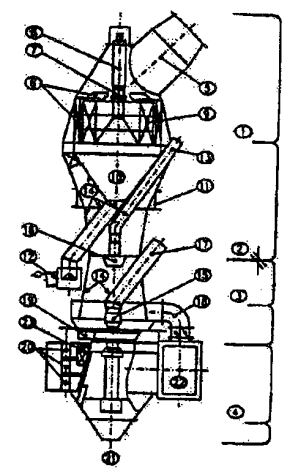
| Item               | Fluidized bed cement kiln system                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Application process | Introduced time |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Burning process     | not introduced  |
| Background         | <p>In cement manufacturing, global environmental preservation such as the reduction of greenhouse effect gas ( CO<sub>2</sub> ) emission is required in addition to the reduction of NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emission these days. Furthermore, the cement market needs to produce special cements such as high compressive strength cement and early hardening cement.</p> <p>In response to several needs, the fluidized bed cement kiln system has been researched and developed to comply with the global environment preservation since 1989.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                 |
| Technical contents | <p>The fluidized bed cement kiln system consists of the following equipment:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Suspension Preheater(SP) with Calcliner(SC) :<br/>consisting of 4-stage cyclones for preheating and calcining raw materials, which applies the conventional technology.</li> <li>2) Granulating kiln(SBK) :<br/>for granulating raw materials into granules 1 to 2mm diameter average without feeding seed-core clinkers at high temperature (1300°C) level. This is the key technology of the system.</li> <li>3) Sintering Kiln(FBK) :<br/>for efficiently completing the sintering of the granules produced in SBK at high temperature (1400°C) level.</li> <li>4) Fluidized Bed Quenching cooler(FBQ) :<br/>for quickly cooling down the burnt clinker from 1400°C level to 1000°C in order to get good quality.</li> <li>5) Packed Bed Cooler (PBC) :<br/>for efficiently recovering the sensible heat of clinker and cooling down the clinker to the specified temperature.</li> </ol> <p>【Note】<br/>A stable power supply is required to maintain good fluidization.</p>  |                     |                 |
| Introduced effects | <ol style="list-style-type: none"> <li>1)Economic advantages <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Due to improvement of the burning and heat transfer characteristics, it is able to use low grade coal such as low volatile coal and low calorific coal.</li> <li>(2) The heat recovery efficiency of the system can be improved by 20 % as compared with the conventional cooler due to increase of waste heat recovery.</li> <li>(3) Both and maintenance costs can be decreased because there are no movable apparatuses.</li> </ol> </li> <li>2) Lower environmental pollution <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) The emission of thermal NO<sub>x</sub> emission can be greatly decreased because combustion takes place in the fluidized bed without generating flame.</li> <li>(2) The emission of CO<sub>2</sub> can be decreased by approximately 10% due to reduction of fuel consumption and so on.</li> <li>(3) The system is able to control temperature more tightly and keep a longer reaction time, and it enables the improving quality and the making a higher grade of special products.</li> </ol> </li> </ol>                                               |                     |                 |
| Equipment cost     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                 |
| Relative items     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                 |
| References         | Cement Manufacturing Technology Symposium, No.51, p.20 (1994)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                 |

| Item               | Introduction of air beam type clinker cooler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Application process | Introduced time |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Burning process     | 1990s           |
| Background         | <p>Improvement of heat recuperation for secondary or tertiary air from sensitive heat of clinker is one of most important technologies in the burning process. As heat recuperation efficiencies of conventional grate coolers are approximately 50 to 60 %, more improvement has been desired.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                 |
| Technical contents | <p>When high temperature clinker is dropped on the grate of cooler from the outlet of kiln, a nonuniform clinker layer is generated by the segregation of its size distribution. For the conventional cooler, cooling air is supplied to each air chamber. Therefore improvement of heat recuperation efficiency for conventional type is limited by reason of nonuniformity for cooling air.</p> <p>Above problem is solved by air beam type cooler and remarkable items are as follows.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Cooling air is supplied directly to each block that is constructed by 4 to 8 pieces of grate plate.</li> <li>2) The grate plate is structured, as high pressure drop of air draft and fine clinker is not able to spill down through grate.</li> <li>3) This type of grate can be applied partially to the region of kiln outlet to main heat recuperation area.</li> </ol> <p>As cooling air is controlled for each block, optimum air distribution is achieved. Therefore heat recuperation efficiency is improved and the life of grate plate is extended.</p> <p>By 2000, these types of coolers have been introduced into approx. 30% of Japanese cement plants. Most of them (71%) have been applied to kiln outlet portion of existing cooler. For 57% of these cases, improved heat recuperation efficiency not more than 5 %. In case modified into kiln outlet portion of cooler, sufficient effect for improvement cannot be achieved.</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;"><b>Comparison of cooling air supply</b></p> </div> <p><b>[Notes]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) There are many types of air beam coolers and those are classified roughly into two kinds, inclined fixed plate type and horizontal fixed-movable alternation type, for kiln outlet area of the cooler.</li> <li>2) Air distribution pipes for air beam type cooler are complicate more than for air chamber type cooler. Therefore sufficient considerations for maintenance are needful.</li> </ol> |                     |                 |
| Introduced effects | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Heat consumption: Approx. 42 – 167 kJ/kg decrease</li> <li>2) Power consumption: Approx. 0.5 – 1.5 kWh/t decrease</li> <li>3) Maintenance cost of grate plate: decrease (Extension of life)</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |                 |
| Equipment cost     | 150 – 300 million yen / 1set                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                 |
| Relative items     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |                 |
| References         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.54 (1997)</li> <li>2) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.55 (1998)</li> <li>3) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.56 (1999)</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                 |

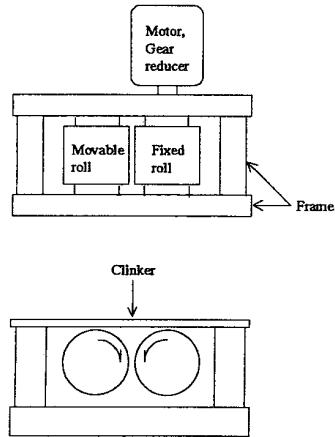
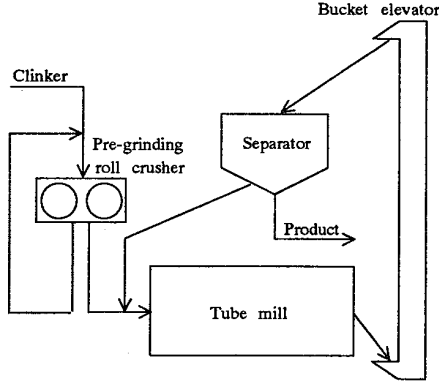
| Item                                        | Introduction of a vertical roller mill for raw materials                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Application process  | Introduced time      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|--|-----------|----------------------|-----------|--------------|-------|---------|-----------------|-------------------------------------|-------|-------|----------------------|---------------------------------------------|--|--|-----------|
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Raw material process | Around 1980s         |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Background                                  | The grinding of raw materials requires enormous energy. Formerly, tube mills were mainly used for the grinding of raw materials. But energy efficiency of tube mill is only a few %, so introduction of grinding equipment which has high energy efficiency was desired.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Technical contents                          | <p>The vertical roller mill has a high grinding energy efficiency and the area for installation is smaller compared with tube mills. In recent years, the vertical roller mills have been extensively adopted.</p> <p>A) Structure</p> <p>(1) The rollers are hydraulically pressed against a disc table and the feed is ground between the rollers and the disc table.</p> <p>(2) The classifier is housed above the rollers.</p> <p>B) Feature</p> <p>(1) The specific power consumption of grinding is lower than that of tube (ball) mill.</p> <p>(2) The residence time of raw materials in this type of mill is much shorter than that in tube (ball) mill; therefore, the crushing section has a good response to the needs of the raw material mixing section and hence contributes to stable quality.</p> <p>(3) The area for installation is small and the noise level is low.</p> <p>(4) This type of mill can crush lumps too large to be fed into the tube (ball) mill.</p> <p>(5) The feed may be dried by using the flue gas from the kiln.</p> |                      |                      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
|                                             |  <p>Fig.1 Vertical roller mill</p>  <p>Fig.2 Schematic process flow of vertical roller mill for grinding of raw materials</p> <p>Vertical roller mills are adopted in 20 cement plants (44 mills) in Japan.</p> <p>[Notes]</p> <p>Height of dam ring on disc table must be adjusted properly to keep high efficiency.</p> <p>Life of roller is 3,000 to 4,000 hrs and that of disc table liner is 5,000 to 6,000 hrs.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                      |                      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Introduced effects                          | <p><b>Table1 Energy saving effect of the vertical roller mill</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>Ball mill</th><th>Vertical roller mill</th><th>Effect(%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Production %</td><td>1 0 0</td><td>160~180</td><td>60~80(increase)</td></tr> <tr> <td>Specific power consumption kWh/t-RM</td><td>20~26</td><td>14~18</td><td>About 30 (Reduction)</td></tr> <tr> <td>The reduction of power consumption(*) kWh/y</td><td></td><td></td><td>2,240,000</td></tr> </tbody> </table> <p>Note : The case of capacity: 200t/h at operation of 7,000h/y</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                      |                      |  | Ball mill | Vertical roller mill | Effect(%) | Production % | 1 0 0 | 160~180 | 60~80(increase) | Specific power consumption kWh/t-RM | 20~26 | 14~18 | About 30 (Reduction) | The reduction of power consumption(*) kWh/y |  |  | 2,240,000 |
|                                             | Ball mill                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Vertical roller mill | Effect(%)            |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Production %                                | 1 0 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 160~180              | 60~80(increase)      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Specific power consumption kWh/t-RM         | 20~26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 14~18                | About 30 (Reduction) |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| The reduction of power consumption(*) kWh/y |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                      | 2,240,000            |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Equipment cost                              | About 1500 million yen for a vertical roller mill of about 200ton/hour Including associated facilities and installation cost.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| Relative items                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                      |                      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |
| References                                  | Cement Manufacturing Technology Symposium, No.37, p.6 (1980)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                      |                      |  |           |                      |           |              |       |         |                 |                                     |       |       |                      |                                             |  |  |           |

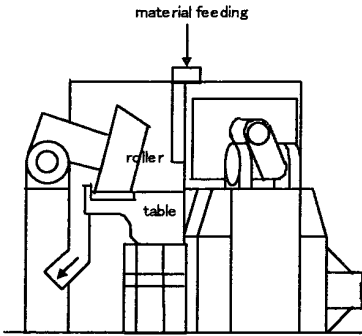
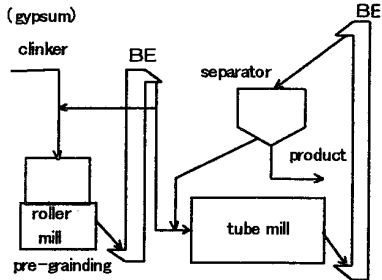
| Item                               | Introduction of external circulating system to vertical roller mill                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Application process  | Introduced time             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|--|---------------------|-----------------------------|--------|----------|-----|-----|-----|--|---------------|------|-------|-----|-----------------|---------------|---------------------|--------|--------|-----------------|------------------------------------|-------|------|------|-----------------|-----------------|--|-----|-----|--|-----|--|------|-----|-----------------|-----------------|--|---|-----|
|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Raw material process | 1980s                       |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Background                         | The vertical roller mills used widely to grind raw materials adopt the system that pulverized products transported by air, from grinding zone to separating zone. Therefore the inducing fan consumes about sixty percent electrical power of the total in this system. So it's desirable to reduce energy of fan for transporting of pulverized products.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |                             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Technical contents                 | <p>In the external circulating system, a portion of pulverized products passing the disc table are dropped under the disc table. The pulverized products discharged to the outside the mill are returned to mill by bucket elevator. In this system, materials circulating inside of the mill are vastly decreased. The volume of air transporting decreases and also the loss of draft falls. The power consumed by fan is vastly reduced.</p> <p>Half of vertical roller mills in Japan adopt this external circulating system.</p> <div></div> <p>Fig.1 Flow chart of roller mill adopting the external circulating system.</p>                                                                                                                      |                      |                             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Introduced effects                 | As compared with conventional internal circulating system, power consumed for fan is reduced until half and it's possible to reduce power of grinding system by about 30%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
|                                    | <p>Table.1 The comparison of external circulating system</p> <table><tr><th></th><th></th><th>Conventional system</th><th>External circulating system</th><th>Effect</th></tr><tr><td>Capacity</td><td>t/h</td><td>490</td><td>496</td><td></td></tr><tr><td>Loss of draft</td><td>mmAq</td><td>1,110</td><td>770</td><td>30% (Reduction)</td></tr><tr><td>Volume of gas</td><td>m<sup>3</sup>/min</td><td>15,400</td><td>12,000</td><td>22% (Reduction)</td></tr><tr><td>Total electrical power consumption</td><td>kWh/t</td><td>19.4</td><td>13.5</td><td>30% (Reduction)</td></tr><tr><td colspan="2">Mill, separator</td><td>8.9</td><td>7.7</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Fan</td><td>10.5</td><td>5.7</td><td>50% (Reduction)</td></tr><tr><td colspan="2">Bucket elevator</td><td>—</td><td>0.1</td><td></td></tr></table> |                      |                             |                 |  | Conventional system | External circulating system | Effect | Capacity | t/h | 490 | 496 |  | Loss of draft | mmAq | 1,110 | 770 | 30% (Reduction) | Volume of gas | m <sup>3</sup> /min | 15,400 | 12,000 | 22% (Reduction) | Total electrical power consumption | kWh/t | 19.4 | 13.5 | 30% (Reduction) | Mill, separator |  | 8.9 | 7.7 |  | Fan |  | 10.5 | 5.7 | 50% (Reduction) | Bucket elevator |  | — | 0.1 |
|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Conventional system  | External circulating system | Effect          |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Capacity                           | t/h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 490                  | 496                         |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Loss of draft                      | mmAq                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1,110                | 770                         | 30% (Reduction) |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Volume of gas                      | m <sup>3</sup> /min                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 15,400               | 12,000                      | 22% (Reduction) |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Total electrical power consumption | kWh/t                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 19.4                 | 13.5                        | 30% (Reduction) |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Mill, separator                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8.9                  | 7.7                         |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Fan                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 10.5                 | 5.7                         | 50% (Reduction) |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Bucket elevator                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                    | 0.1                         |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Equipment cost                     | It depends on scale of facilities. For example, about 50 million yen per unit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                      |                             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| Related items                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |
| References                         | 1) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.41, p.1 (1984)<br>2) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.43, p.96 (1986)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |                             |                 |  |                     |                             |        |          |     |     |     |  |               |      |       |     |                 |               |                     |        |        |                 |                                    |       |      |      |                 |                 |  |     |     |  |     |  |      |     |                 |                 |  |   |     |

| Item               | Introduction of a vertical roller mill for cement                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Application process | Introduced time |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Finishing process   | Around 1980     |
| Background         | In the finishing process, the tube mill is the main stream. But, the vertical roller mills for cement were developed and it began to have been popularized in about 1980.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                 |
| Technical contents | <p>Basic structure of the vertical roller mill for cement is the same as the vertical roller mill for grinding of the raw materials and coal.</p> <p>The material supplied in the mill is ground by the compression and shear force between the disc table and two~four rollers, which are pressed hydraulically against the disc table.</p> <p>The ground material is blown upward from the table side face by air, and classified into fine and coarse particles by the built-in separator housed at the upper parts.</p> <p>The fine particles are discharged to outside of mill as products and collected by bag dust collector or cyclone.</p> <p>The coarse particles are feed into mill.</p> <p>The advantage of the vertical roller mill for cement (comparison with the tube mill)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Highly efficient grinding is possible with considerably low electrical power consumption.</li> <li>2) The residence time of the ground material in this type is much shorter than in the tube mill; therefore, the crushing section has a good response to the needs of the control and hence contributes to stable quality.</li> <li>3) Therefore the vertical roller mill for cement produces little heat for grinding, and quality trouble due to the excessive rise of temperature of cement is less likely to occur.</li> <li>4) The area for installation is about half in comparison with the tube mill.</li> </ol> <p>But the introduction of a pre-grinding crusher has become mainstream in Japan, and the above-mentioned technology is spreading mainly overseas.</p> <p><b>[Notes]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) The vertical roller mill for cement becomes unstable operation easily when a frequent change in properties of clinker is predicted, because it is comparatively sensitive to a change of properties of clinker in mechanism of grinding.</li> <li>2) An efficiency of grinding decline due to the abrasion of the disc grinding table and the roller occurs; therefore the regular repair (hard facing or exchange) of those is necessary.</li> </ol> |                     |                 |
| Introduced effects | Electrical power consumption can be reduced by 30 % (compared with the tube mills).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                 |
| Equipment cost     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                 |
| Relative items     | Introduction of the external circulating system to vertical roller mill for cement.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                 |
| References         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                 |

| Item               | Improvement of separator                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Application process | Introduced Time |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Finishing process   | 1970s           |
| Background         | <p>With the conventional separator having a built in fan such as a sturtevant-separator it is difficult to expand the grinding capacity by the scale-up because of lower classification efficiency. Therefore the development of a new high efficiency separator has proceeded.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                 |
| Technical contents | <p>The separators are divided into three types according to difference of mechanism. The first generation is the built in fan type, the second is the cyclone air type and the third is the rotor type.</p> <p>1) Mechanism</p> <p>(1) The cyclone air separator comprises the separation section and the cyclones to collect the fine particles. The air circulates by the outside (located) fan. The separation section consists of air vanes and turning blades.</p> <p>(2) The rotor type separator is the vortex flow type air separator comprised of guide vanes and rotating rotor. The fine particles are collected by a bag filter and cyclones equipped outside the separator housing.</p> <p>2) Characteristics</p> <p>(1) The second and third types have lower circulation of the fine particles and higher classification efficiency as compared with the first type so that it is possible to increase the grinding capacity and reduce the specific power consumption. As compared with the second one, the third type has high classification with keeping quality of cement and it doesn't depend on the capacity. Further it is compact.</p> <p>(2) The second and third types can adjust easily the fineness of products under operating by varying the rotational speed of blade or rotor, or changing the classifying air volume. And it's adjustment range is wide. The third type can control classifying points in a more wide range just by varying the revolutions per minute as compared to the second type.</p> <p>(3) The products temperature has been decreased as a result of the second and third types introducing much cooler air into the separator. The false set of cement is hard to occur.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>① separation chamber<br/>② tailings cone<br/>③ air vanes<br/>④ distributor plate<br/>⑤ counterblades<br/>⑥ feed spout<br/>⑦ gearbox<br/>⑧ motor<br/>⑨ fines outlet<br/>⑩ tailings outlet<br/>⑪ cyclones<br/>⑫ air duct to fan<br/>⑬ fan<br/>⑭ dust collecting pipe to filter<br/>⑮ return air duct</p> <p>Fig. 1. Cyclone air separator</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>① guide vanes<br/>② rotor blades<br/>③ distributor plate<br/>④ rotor shaft<br/>⑤ feed spouts<br/>⑥ sealing<br/>⑦ air + fines outlet<br/>⑧ tailings outlet<br/>⑨ air inlet<br/>⑩ gear box<br/>⑪ motor</p> <p>Fig. 2. Rotating type separator</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>① separator part<br/>② optional duct ext. to fit layout<br/>③ desagglomerator<br/>④ grit separator<br/>⑤ fines outlet<br/>⑥ bearing housing<br/>⑦ shaft rotor joint<br/>⑧ guide vane<br/>⑨ rotor blade<br/>⑩ reject cone<br/>⑪ support<br/>⑫ reject outlet valve<br/>⑬ feed inlet<br/>⑭ densit wearcast 2000<br/>⑮ air lock<br/>⑯ spreader plate<br/>⑰ feed from press<br/>⑱ air by-pass<br/>⑲ desagglomerator rotor<br/>⑳ guide vane sections<br/>㉑ outlet to press<br/>㉒ air inlet<br/>㉓ rotor blades</p> <p>Fig. 3. Rotating type separator</p> </div> </div> |                     |                 |

|                           |                                                                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Introduced effects</b> | 1 ) Grinding capacity                      15% to 25% (Increase)<br>2 ) Specific power consumption    10% to 20% (Reduction) |
| <b>Equipment cost</b>     | 150 million yen (for a tube mill of a 3,000 kW capacity)                                                                     |
| <b>Relative items</b>     |                                                                                                                              |
| <b>References</b>         |                                                                                                                              |

| Item               | Pre-grinding of roll press system                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Application process | Introduced time |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Finishing Process   | 1980s (Middle)  |
| Background         | <p>To decrease the specific power consumption in finishing process or to increase the output of finish mill, pre-grinding roll crusher, which is installed in the upstream of tube mill, has been introduced since the middle of 1980s.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |                 |
| Technical contents | <p>1) System &amp; Structure<br/> This system increases the output of finish tube mill by installing the pre-grinding roll crusher in upstream of the tube mill.<br/> By passing through the opening between two rolls (a fixed roll and a movable one), materials are crushed by high-pressure(as shown in Fig.1). High-pressure to crush the materials are generated by oil-hydraulics. Wear-resistant material is attached on the surface of rolls.<br/> Various kinds of system are available, and the typical one is shown in Fig.2.</p> <p>2) Operation &amp; Maintenance<br/> (1) Exerting pressures are 50 to 100bars on the basis of the projected area of the roll, onto the layer of clinkers passing between the two rolls.<br/> (2) Wear-resistant parts are classified in one unit type or segment type. In any type, wear-resistant parts should be replaced to new one or hard facing, if they are worn out.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fig.1 Structure</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. 2 Flow sheet</p> </div> </div> <p><b>[Notes]</b><br/> 1) If rolls are worn out, uniform pressure can not be exerted on materials and pre-grinding efficiency will be decreased extremely, so it is required to weld or replace the wear-resistant material on rolls frequently.<br/> 2) To decrease the specific power consumption in finishing process sufficiently, it is required to make the size of balls in finish mill smaller.</p> |                     |                 |
| Introduced effects | <p>1) Grinding capacity of finish mill increases about 30%.<br/> 2) Specific power consumption in finishing process decreases about 10%.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     |                 |
| Equipment cost     | The installation cost is about 200million yen including auxiliary and construction cost, in case of 100t/h output.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                 |
| Relative items     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                 |
| References         | 1) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.45, p.9 (1988)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                 |

| Item               | Pre-grinding of roller mill system                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Application process | Introduced time     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Finishing process   | 1980s (latter half) |
| Background         | <p>For the purpose of decreasing the specific electrical power consumption in the finishing process, this installs a vertical roller mill for pre-grinding of clinker in the upstream of the tube mill. The roll press system preceded as pre-grinding system, but there are many machinery troubles (flake and crack of roll surface, damage of roll shaft and bearing) for high pressure. This system was developed on the vertical roller mill which has achieve satisfactory results. It was introduced from the latter half of the 1990s, and the introduction rate in 2000 is 13%.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                     |
| Technical contents | <p>This system installs a vertical roller mill (of high grinding efficiency) for a pre-grinding in the upstream of the tube mill. Clinkers are milled the turn table and 2~4 rollers. The basic structure is the same as vertical roller mills for raw materials or cement. But the roller mill for pre-grinding have no classifier and air sweep. Pre-ground clinkers were discharged outside mill. Fine particles are separated from pre-ground clinkers with vibrating screen, and they are fed to finishing tube mill.</p> <p>The structure (Fig.1) and the flow (Fig.2) are shown below.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fig.1 Structure</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fig.2 Flow</p> </div> </div> <p><b>[Note]</b></p> <p>1) To decrease the specific power consumption in finishing process sufficiently, it is required to make the size of balls in finish mill smaller.</p> |                     |                     |
| Introduced effects | <p>1) Grinding capacity of finish mill increases about 30~60%.<br/>2) Specific power consumption in finishing process decreases 10~20%.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                     |
| Equipment cost     | About 500~1000 million yen for production capacity about 100 t/h including associated facilities and installation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |                     |
| Relative items     | 1) Introduction of raw material pre-grinding roll crusher                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                     |
| References         | <p>1) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.46, p.21 (1989)<br/>2) Cement Manufacturing Technology Symposium, No.44, p.56 (1987)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                     |

ISBN4-88175-054-2 C3358 ¥1905E

---

生産技術専門委員会報告

T-22

省エネルギー・省資源技術に関する報告書

2002年5月1日 印刷

2002年5月8日 発行

定価 2,000 円 (本体 1,905 円+税)

社団法人 セメント協会

東京都中央区八丁堀4丁目5番4号 秀和桜橋ビル7階

電話 03 (3523) 2701 (代)

発行所 社団法人 セメント協会 研究所

東京都北区豊島4丁目17番33号

電話 03 (3914) 2691 (代)

印刷所 有限会社 プリントニューライフ

東京都千代田区三崎町2丁目12番5号

電話 03 (3263) 0633

**JCA**